



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

교육학박사 학위논문

물리학의 본질을 추구하는
새로운 물리학 교재를 지향하며

- Leon Cooper의 일반물리학 교재 사례 연구를 중심으로 -

Aiming for a New Physics Textbook
that Pursues the Authentic Physics:

Focusing on the Case Study of Leon Cooper's
General Physics Textbook

2018 년 2 월

서울대학교 대학원

과학교육과 물리전공

권 상 운

물리학의 본질을 추구하는
새로운 물리학 교재를 지향하며

-Leon Cooper의 일반물리학 교재 사례 연구를 중심으로-

Aiming a New Physics Textbook that
Pursues the Authentic Physics: Focusing on the Case
Study of Leon Cooper's General Physics Textbook

지도교수 이 경 호

이 논문을 교육학 박사학위논문으로 제출함

2017 년 11 월

서울대학교 대학원

과학교육과 물리전공

권 상 운

권상운의 박사학위논문을 인준함

2018 년 01 월

위 원 장

송 진 응

(인)

부 위 원 장

채 승 철

(인)

위 원

차 동 우

(인)

위 원

홍 은 숙

(인)

위 원

이 경 호

(인)

국 문 초 록

물리학을 비롯한 자연과학은 자연현상에 대해 탐구하고 그것에 대한 이해를 확장해 나가는 것을 추구한다. 한편, 물리교육을 포함한 과학교육은 학생들이 과학을 통해 자연세계와 자연현상을 어떻게 이해하고 어떻게 탐구하는지를 배우는 것을 목표로 한다. 과학과 과학교육 모두 자연에 대한 이해를 추구하는 것은 동일하며, 이를 통해 자연에 담겨 있는 진리와 만나고, 이러한 과정들 속에서 우리가 총체적으로 성장하는 것을 추구하고 있다. 그러나 그동안의 물리교육/과학교육은 오랜 시간 학생들에게 물리학을 가르침에 있어 아는 것에 초점을 맞추어 물리학 지식을 결론적으로 전달하는 방식으로 가르쳐왔으며, 이러한 방식의 물리학 교육은 학생들로 하여금 과학에 대한 왜곡되고 탈맥락적이며 잘못된 인식을 심어주게 된다고 지적되어왔다.

이러한 문제들을 극복하기 위한 한 방안으로 많은 물리교육 연구들에서는 본래적인(authentic) 물리학(과학), 혹은 과학자들이 물리학(과학)을 하고 있는 그대로의 실천을 학생들에게 가르쳐야 함을 제안하였다. 그러나 본래적인 물리학이란 무엇이며, 과학자들의 실천대로의 물리학을 가르친다는 것이 구체적으로 무엇을 의미하는지는 그간의 물리교육 논의로부터 파악하기가 어려운 점이 있다. 따라서 물리교육에서 학생들에게 가르쳐야 할 본래적인 물리학이 무엇인지, 그리고 실제 수업이나 교재에 어떻게 본래적인 물리학이 적용되어 학생들을 가르칠 수 있는지 등에 대한 연구들이 필요하다고 본다.

한편, 본 연구자는 이와 같은 연구의 지향을 가지고 대학 일반물리학 교재를 주된 연구관심으로 삼아 연구를 수행하였다. 본 연구자의 연구 수행 중 일반물리학 교재에 대한 선행 연구로부터 발견하게 된 Leon Cooper의

일반물리학 교재는 연구자가 본격적으로 본래의 물리학 혹은 물리학의 본질을 가르치는 물리학 교재에 대한 탐구를 시작할 수 있는 계기를 마련해주었다. 이에 본 연구자는 물리학의 본질을 가르치는 것을 추구하는 물리학 교재를 탐구하고자 하는 연구자의 지향으로부터 시작하여 "그러한 일반물리학 교재는 구체적으로 어떠해야 하는가?"라는 근본적인 질문을 가지고 일반물리학 교재에 대한 구체적인 연구를 수행하였다. 그리고 선행 연구에서 발견하게 된 Leon Cooper 일반물리학 교재를 시작점으로 삼아, 대상 교재를 면밀히 살펴보고 연구자의 근본적 질문에 대한 답을 모색하고자 하였다.

따라서 본 연구자는 우선적으로 물리학의 본질을 가르치는 것이 무엇인지 이론적인 검토를 수행한 후, Cooper 일반물리학 교재를 대상으로 다음과 같은 구체적인 연구 질문을 설정하였으며, 이를 통해 Cooper 교재로부터 물리학 교재에 대한 새로운 시사점들을 얻고자 하였다: 1) Cooper 일반물리학 교재 '원자의 구조' 단원 내용 서술의 특징은 어떠한가? 2) Cooper 일반물리학 교재는 '원자의 구조' 단원 내용을 어떤 구성으로 전개하고 있는가? 3) Cooper 일반물리학의 특징을 어떻게 체계적이고 종합적으로 이해할 수 있는가? 본 연구에서는 설정된 연구 질문에 따라 물리학 교재를 분석하기 위해 다양한 질적인 연구 방법-근거 이론 방법 및 스토리/플롯 구조 분석 등-들을 사용하여 Cooper 일반물리학 교재의 내용을 면밀하게 분석하였으며, 이를 통해 드러난 교재의 특징으로부터 본 연구자가 지향하고 있는 물리학의 본질을 가르치는 물리학 교재와 관련된 시사점들을 도출하였다.

연구의 결과, Cooper 일반물리학 교재의 원자의 구조 단원 본문 내용의 특징을 살펴보면, 첫째, Cooper 일반물리학 교재는 물리학에 대한 메타적인 관점과 함께 물리학 지식의 의미, 물리학의 과정 및 방법을 함께 전하고자 하였으며, 독자들과 대화하는 듯한 문체의 특징이 나타났다. 둘째, Cooper

일반물리학 교재는 원자의 구조와 관련된 내용을 중요하게 다루면서 원자에 대한 탐구를 중심주제 삼아 하나의 큰 이야기 흐름으로 내용을 구성하였다는 특징을 발견하였다. 셋째, Cooper 일반물리학 교재는 우주론적 관심을 바탕으로 하며 우선적으로 물리학의 목적이 자연에 대한 이해와 설명임을 분명하게 보이게 하였다. 이에 학생들이 물리학 개념이나 이론을 배우는 데 있어 자연이라는 핵심 주제를 중심으로 큰 스토리 라인의 맥락 속에서 이해하도록 하고 있으며, 단순히 결과를 전달하지 않고 학생들 스스로가 더 넓은 지평과 만날 수 있도록 하는 서술과 내용구성의 특징을 보이고 있음을 알 수 있었다.

이상을 종합할 때, 본 연구에서 분석한 Cooper 일반물리학 교재의 '원자의 구조' 단원은 비록 여타 일반물리학 교재들과 같은 간결하게 정리된 부분이나 충분한 문제 풀이 연습이 잘 다뤄지지 않았다는 아쉬움이 있지만, 물리학을 배움에 있어 그 의미와 구조를 강조하며, 물리학의 방법과 과정들을 생생하게 보여주려 하는 점에서 기존의 일반물리학 교재에서는 찾아볼 수 없는 새롭고 차별화된 특징들을 보이고 있다. 또한 Cooper 일반물리학 교재의 이와 같은 특징들은 향후 본 연구자가 지향하는 물리학의 본질을 가르치는 물리학 교재의 이해와 개발에 있어 진지하게 고려할 시사점을 제공해준다고 여겨진다.

주요어 : 물리학의 본질을 가르치는 것, 과학의 관심, 일반물리학 교재, Leon Cooper 일반물리학 교재

학 번 : 2009-23415

목 차

I. 서 론	1
1. 대학 물리학 교재에 대한 근본적 차원의 연구 필요성	1
1.1. 대학 물리학 교육 연구의 필요성	1
1.2. 일반물리학 교재 연구의 필요성	3
2. Cooper 일반물리학 교재 경험과 문제 인식	6
3. 연구의 질문과 연구 내용	15
3.1. 연구의 접근방식	15
3.2. 연구 대상과 구체적인 연구 내용	17
II. 이론적 배경	25
1. 물리학의 본질을 추구하는 것	25
1.1. 물리학의 본질을 추구하는 것	28
1.2. 과학의 관심 개념과 우주론적 관심	32
2. 물리학 교재(교과서) 분석 연구	41
III. Cooper 일반물리학 교재 서술의 특징	48
1. 연구 방법	48
2. Cooper 일반물리학 교재의 서술에서 드러나는 특징	50
2.1. 물리학과 자연, 인간의 관계를 설명하다	50
2.2. 물리학 지식의 의미를 말하다	55
2.3. 물리학의 과정을 생생하게 보여준다	64
2.4. 물리학 교재 같지 않은 문체	74

IV. Cooper 일반물리학 교재 ‘원자의 구조’ 내용 구성의 특징	89
1. 연구 방법	89
2. 연구 결과 1: Halliday 일반물리학 교재	93
2. 1. Halliday 일반물리학 교재의 전체 내용 구성	93
2. 2. Halliday 일반물리학 교재의 ‘원자의 구조’ 내용 구성	97
2. 3. Halliday 일반물리학 교재 ‘원자의 구조’ 내용의 플롯-이야기 구조	104
3. 연구 결과 2: Cooper 일반물리학 교재	108
3. 1. Cooper 일반물리학 교재의 전체 내용 구성	108
3. 2. Cooper 일반물리학 교재의 ‘원자의 구조’ 내용 구성	113
3. 3. Cooper 일반물리학 교재 ‘원자의 구조’ 내용의 플롯-이야기 구조	127
V. Cooper 일반물리학 교재 특징에 대한 체계적 이해	134
1. 연구 방법	134
2. 연구 결과	139
2. 1. 물리학 교재가 드러내는 우주론적 관심	139
2. 2. 총체적 맥락에서의 물리학 지식과 하나의 큰 스토리라인	148
2. 3. 더 넓은 지평의 만남으로 이끄는 서술 방식	158
VI. 결론 및 논의	167
1. 요약 및 결론	167
2. 논의	169
2. 1. Cooper 일반물리학 교재로부터의 시사점	169
2. 2. 물리학 교재 연구 방법론으로서의 본 연구의 의의	176
3. 연구의 한계점 및 후속 연구 제언	177

참고문헌	179
Abstract	191

표 목 차

[표 IV-1] 플롯 구조 (Klassen, 2014)	92
[표 IV-2] Halliday & Resnick 일반물리학 교재의 목차	93
[표 IV-3] Halliday & Resnick 일반물리학 교재의 원자의 구조 관련 내용	97
[표 IV-4] Halliday & Resnick 일반물리학 교재 원자의 구조 내용 플롯	105
[표 IV-5] Cooper 일반물리학 교재의 목차	108
[표 IV-6] Cooper 일반물리학 교재의 원자의 구조 내용	113
[표 IV-7] Cooper 일반물리학 교재 원자의 구조 내용 플롯	128
[표 V-1] 과학의 관심, 방법론, 행위의 관계	135
[표 V-2] 일반물리학 교재 분석틀	136
[표 V-3] Cooper 일반물리학 교재와 Halliday 일반물리학 교재의 특징 분석 결과	166

그림 목 차

[그림 I-1] Cooper 일반물리학 교재의 표지	18
[그림 I-2] Cooper 일반물리학 교재 본문 예시	19
[그림 IV-1] 최소 이야기 구조 모형 (Klassen, 2010)	91
[그림 IV-2] Halliday & Resnick 일반물리학 교재 원자의 구조 내용 플롯-이야기 구조	106
[그림 IV-3] Cooper 일반물리학 교재 28장의 첫 페이지	115
[그림 IV-4] Cooper 일반물리학 교재 29장의 첫 페이지	120
[그림 IV-5] Cooper 일반물리학 교재 원자의 구조 내용 플롯-이야기 구조	130

I. 서 론

1. 대학 물리학 교재에 대한 근본적 차원의 연구 필요성

1.1. 대학 물리학 교육 연구의 필요성

물리학을 비롯한 자연과학은 자연현상에 대해 탐구하고 그것에 대한 이해를 확장해 나가는 것을 추구한다. 한편, 물리교육을 포함한 과학교육은 학생들이 과학을 통해 자연세계와 자연현상을 어떻게 이해하고 어떻게 탐구하는지를 배우는 것을 목표로 한다. 과학이든 과학교육이든 모두 자연에 대한 이해를 추구하는 것은 동일하며, 이를 통해 자연에 담겨 있는 진리와 만나고, 이러한 과정들 속에서 한 사람으로서의 지성과 인성이 총체적으로 성장하는 것을 추구하고 있다.

그러나 그 동안의 물리교육/과학교육은 상당히 오랜 시간동안 학생들에게 과학을 가르침에 있어 "아는 것"(to know)에 초점을 맞추어 과학 지식의 결론만을 중점적으로 전달하는 방식¹⁾으로 가르쳐왔으며, 이와 같은 과학교육의 방식은 학생들로 하여금 과학적 지식이 경험적인 것이며 변경할 수 없는 진리라는, 왜곡되거나 탈맥락적이며 잘못된 과학에 대한 인식을 심어줄 수 있다고 지적되어왔다 (Schwab, 1962; Hodson, 1992, 2008; Duschl, 1990, 2008 외). 특히 Niaz (2010)는 이러한 과학교육의 문제를 교사들에게만 있다 보지 않고, 많은 교재와 교육과정들 또한 학생들로 하여금 과학에 대해 이론의 공식들을 분명하게 이끌어내는 데이터들의 결과물이라 믿게 하고 있음을 지적하였다.

이러한 문제들을 극복하기 위한 한 방안으로 많은 과학교육 연구들에서는

1) 이와 같은 교육 방식에 대해 대표적으로 예를 들면, Schwab(1962)은 "수사학적 결론"(rhetoric of conclusions)이라 표현하였으며, Duschl(1990)은 "최종 형태 과학 교수법"(final form science instruction)이라 표현하였다.

본래적인(authentic) 과학, 또는 과학자들이 과학을 하고 있는 대로 의 그 실천(practice) 그 자체를 학생들에게 가르쳐야 함을 제안하였다 (Hodson, 1996; Gilbert, 2004; Windschitl, Thomson, & Braaten, 2008; Passmore, Gouvea, & Giere, 2014 외)

본 연구자도 학생들에게 과학(물리학)을 가르치면서 그 참된 모습 혹은 그 본질을 가르치고자 하는 것에 깊이 동감한다. 그러나 과학교육에서 그동안 진행되어온 연구에서 본래적인(authentic) 과학이란 무엇이며, 혹은 과학자들의 실천(practice)대로 가르친다는 것이 구체적으로 무엇을 의미하는지 파악하기 어려운 점이 있다.²⁾ 따라서 물리교육/과학교육에서 학생들에게 가르쳐야 할 본래적인 과학 혹은 과학자들의 실천이 무엇이며 그것이 실제 수업이나 교재에 어떻게 적용될 수 있는지 등에 대한 연구들이 필요하다고 본다.

이러한 점에서 보았을 때, 대학에서의 이와 같은 주제 - 과학의 본성 교육 혹은 과학교육의 철학 - 들의 연구들은 아직 부족한 실정이다. 대학에서의 과학교육, 특히 물리학 교육에 대한 연구들을 살펴보면 대체적으로 대학 물리학과와 커리큘럼 구성이나 실험 강의의 새로운 방법, 새로운 실험기구의 개발 등 대학에서의 제도나 교육환경 개선 측면에 관한 연구들이 많이 수행되었다 (우종천, 1981; 김정홍, 1987; 노지현, 1988; 장희익, 1996; 이철세, 1997; 윤희중, 2001 등). 이 외에 대학에서의 물리학 교육에서의

2) 이와 같이 주제들은 과학철학 분야에서도 매우 활발하게 논의되고 있는 주제이기도 하다. 국내외적으로 과학의 과정(processes of science), 과학의 본성(nature of science: NOS), 과학의 탐구(scientific inquiry) 등이 갖는 교육적 의의에 대한 논의 및 그 결과의 교육과정, 수업현장 및 교재 개발에의 적용 등에 대한 시도들은 이러한 과학사 및 과학철학의 논의들이 과학교육에 많은 영향을 미친 결과로 보인다. 그러나 이제는 과학사 및 과학철학계의 논의들을 그대로 받아들이기보다는 과학교육(물리교육) 자체의 맥락에서 과학이란 무엇이라 여겨야 하며, 학생들에게 가르쳐야 하는 과학은 어떤 것이어야 하는지에 대한 연구와 논의들이 더욱 필요한 시점이라 본다.

교수-학습과 관련한 연구들의 경우 학생들이 물리학 내용 지식을 학습함에 있어 겪는 어려움들을 탐구하거나 학생들이 물리학 내용을 잘 이해할 수 있도록 하는 교수 전략을 제안하는 등의 연구들이 주로 이루어져왔다 (이진석, 2008, Kim, Kwon, & Lee, 2010 등). 한편 앞서 제기된 것처럼 학생들에게 물리학의 본질 혹은 물리학의 실천을 가르치는 것 등의 물리교육의 본질적 질문들을 다루는 논의들이 대학 물리교육 맥락에서 본격적으로 이루어진 연구들은 찾아보기 힘들다. 그렇지만, 대학이 하나의 교육기관으로서 교육의 질을 높이는 것을 추구해야하는 책무를 지는 곳 (이성호, 1995)이라는 점에서 생각할 때, 대학에서 이루어지고 있는 모든 교육에 대한 성찰과 더 나은 교육을 지향하는 연구는 반드시 필요하다고 본다. 이러한 맥락에서 대학 물리학 교육에 대한 연구도 실천적인 측면에서 근본적인 차원에 이르기까지 다양한 연구가 수행되어야 할 필요가 있다고 할 수 있다.

1.2. 일반물리학 교재 연구의 필요성

한편, 물리학을 가르치고 학습하는 데 본 연구는 물리학 교재(혹은 교과서)가 우선적으로 중요한 역할을 한다고 보고 연구를 수행하였다. Patiniotis (2006)는 물리교재의 특징을 일반적인 단어 정의로부터 설명하고 있는데, 그는 교재란 어떤 주제(혹은 과목)의 원리들에 대해 체계적으로 표현한 것을 포함한 책, 혹은 특정한 주제를 다루는 글들의 모음집(collection)이라 하였다. 그리고 대부분의 경우 이러한 책 혹은 모음집은 교육적 상황을 위해 또는 참조 자료로서 사용된다고 이야기하였다. Patiniotis의 교재 정의를 통해, 물리교재는 물리학의 주제들에 대한 체계적인 내용을 포함하고 있으며 교육적 상황을 위한 책이라 정의할 수 있을 것이다. 따라서 학생들과 교사들이 물리교재를 통해 물리학과 만나게 된다고 볼 수

있다. 이런 의미에서 물리교재의 역할은 물리교육에 있어서 매우 중요하다고 볼 수 있다. 게다가 물리교재에 대한 일반적인 정의로부터 그 중요성을 강조하지 않더라도 이미 물리교육 현장에서는 물리교재의 중요성이 꽤 인식되어왔다. 물리교육의 현장에서 물리교재는 물리교사들이 물리수업을 계획하는 데 중심적인 역할을 하며, 특히 ‘무엇을’, ‘어떻게’, 가르치고 배워야 하는지를 결정하는데 큰 영향을 끼친다. 또한 물리교재는 학생들에게 있어서 그들이 물리학을 배우면서 무엇을 배워야 하는지에 대해 일차적으로 알 수 있게 해주는 중요한 역할을 한다 (Guisasola, Zuza, & Almudi, 2013).

그러나 이와 같은 물리학 교재의 중요성과 필요성에도 불구하고, 어떤 물리학 교재가 좋은 교재인지 혹은 물리학 교재 개발에 어떤 것들을 고려해야 하는지 등 물리학 교재의 이해와 개발에 관한 기초적이고 근본적인 연구들은 찾아보기 힘든 실정이다. 즉, 교사 혹은 강의자들이 수업에서 사용할 교재를 선정하는 데 있어서 준거로 삼을 수 있는 물리학 교재에 대한 이론적 근거들이 부족하다는 것이다. 이와 같은 상황에서 교사 혹은 강의자들은 수업이나 강의에서 사용할 교재들의 선택지가 많을 때 더욱 어려움을 겪는다. 예를 들어, 대학 일반물리학 교재의 경우 Rodríguez & Niaz (2004)의 연구에 의하면 미국에서만 약 40종 가까이 되는 교재가 출판되고 있다. 국내에서도 서점이나 도서관 등을 살펴보면 해외 저자들의 일반물리학 교재의 번역판 뿐 아니라 국내 저자들이 직접 저술한 일반물리학 교재들도 상당함을 볼 수 있는데, Niaz, Kwon, Kim, & Lee (2013)의 연구에 의하면 외국 원서의 번역판이 아닌 순수 한국 저자 저술의 일반물리학 교재만 약 16 종류가 있음을 확인할 수 있다. 이와 같이 다양하고도 수많은 일반물리학 교재가 있는 상황 속에서 일반물리학 강의를 해야 하는 강의자들은 교재 선정에 도움을 줄 수 있는 이론적 근거나 기준이

부족한 상태에서 어려움을 겪을 수밖에 없다고 본다. 따라서 물리교재 혹은 물리교과서를 이해하고 판단할 수 있는 기준을 제안할 물리교육학적 논의가 이루어진다면 많은 물리교육의 현장에서 교재를 선정하는데 큰 도움이 될 수 있을 것이라 기대할 수 있다.

특히 본 연구에서는 물리학 교재 중 대학 일반물리학(general physics 혹은 college physics 혹은 introductory physics) 교재에 초점을 두고 연구를 수행하였다. 대학 일반물리학(general physics 혹은 introductory physics) 교재는 이공계 대학생 대부분이 필수적으로 학습하게 되는 교재로 역학, 전자기학 등 세부적인 전공 물리학 교재의 내용에 비해 상대적으로 낮은 난이도로 물리학 전반에 걸친 내용을 다루고 있다. 따라서 이러한 일반물리학 교재는 학생들에게 물리학이란 무엇인가 등 물리학에 관한 이미지를 심어줄 수 있는 교재이며 이것은 학생들의 추후 심화된 전공 물리학 학습에도 큰 영향을 준다고 볼 수 있다. 게다가 초, 중등 물리교육과정에도 일반물리학의 영향력은 매우 크다고 볼 수 있다. 교사교육의 측면에서 보자면, 대부분의 교사들은 학생들에게 물리학을 가르칠 때, 그들이 대학에서 배우고 학습했던 대로 물리학을 가르친다고 한다 (Kampourakis, 2017). 이런 점에서 보았을 때, 예비 교사들이 가장 처음으로 물리학의 전반적인 내용을 배우고 물리학에 대한 이미지를 갖게 되는 일반물리학 강의 및 교재는 그 중요성이 상당히 크다고 볼 수 있다. 또한, 본 연구자의 경험에 의하면, 많은 예비 물리교사들이 교사 임용시험을 준비하면서 그들이 학습하였던 일반물리학 교재를 다시 펼쳐보며 그 내용을 재학습하고 문제 풀이를 연습하는 것을 많이 보아왔다. 이렇듯 물리교육에 있어서 대학 일반물리학 교재에 대한 연구는 그 중요성이 상당히 크다고 볼 수 있는데, 지금까지 일반물리학 교재 자체에 대한 연구들은 매우 부족한 실정이다. 따라서 이와 같은 중요성에 따라 일반물리학 교재를 대상으로 한 연구가 매우 필요하다고 볼 수 있다.

2. Cooper 일반물리학 교재 경험과 문제 인식

본 연구자는 위에서 언급한 연구의 필요성에 따라 대학 일반물리학 교재에 관심을 가지고 연구를 수행해 왔다. 특히 앞서 밝힌 것처럼, 본 연구자는 물리학의 본질, 혹은 참된 물리학을 학생들에게 가르칠 수 있는 물리학 교재를 지향하고 있으며, 이에 따라 본 연구자의 구체적인 연구 주제는 물리학의 본질을 학생들에게 가르칠 수 있는 물리학 교재, 특히 대학 일반물리학 교재는 어떠한지 하는지를 탐구하는 것이었다. 그러나 앞서 연구의 필요성과 관련하여 언급한 바와 같이 대학 일반물리학 교재를 대상으로 하여 이러한 주제의 논의를 이끌어낸 연구들은 찾아보기 쉽지 않은 실정이다.

이와 같은 상황에서 본 연구자는 일반물리학 교재에 대한 연구들을 탐색하던 중, Rodríguez & Niaz (2004)에 의해 수행된 연구를 접하고 이에 주목하게 되었으며, 이것이 본 연구자가 일반물리학 교재와 관련된 연구를 본격적으로 시작하는 계기를 마련해주었다. 이 연구에서 그들은 미국에서 출판된 40여종의 일반물리학 교재들을 대상으로 교재들의 '원자의 구조' 단원의 내용들을 살펴보고, 각 교재들이 원자의 구조와 관련된 과학사적 논쟁(historical controversies)들을 얼마나 수록하고 있는지를 비교 분석하였다. 이 연구에서는 과학사적 논쟁이 과학의 본성 등과 관련하여 과학의 생생한 모습을 학생들에게 잘 가르칠 수 있는 좋은 소재라고 생각하였다. 따라서 이 연구에 의하면 과학사적 논쟁이 잘 수록되어 있는 교재라면 과학의 생생한 모습을 잘 드러내고 있는 교재라고 볼 수 있는 것이었다. 이와 같은 선행연구의 결과에서는 미국에서 출판된 일반물리학 교재의 대부분이 원자의 구조 단원의 내용에서 과학사적 논쟁들을 잘 수록하고 있지 않음을 보였다. 그러나 분석된 일반물리학 교재 중 Cooper (1970) 일반물리학 교재만은 다른 대부분의 교재들과는 달리 원자의 구조

내용과 관련된 과학사적 논쟁을 잘 포함시킨 교재로 평가되었다.

본 연구자는 이와 같은 선행연구의 결과에서 두드러진 특징을 보였던 Cooper 일반물리학 교재에 주목하게 되었다. 특히, 연구자는 Cooper 일반물리학 교재가 도대체 어떠한 물리학 교재이기에 여타 교재들과는 다르게 과학사적 논쟁들을 포함하는 특징을 갖게 되었는지 궁금하였고, 이에 Cooper 일반물리학 교재에 대해 더욱 자세히 탐구하여 그 특징들을 구체적으로 파악하고자 하였다. 그리고 이를 통해 연구자가 지향하는 물리학의 본질을 가르치는 물리학 교재와 관련하여 어떤 구체적인 배울 점 혹은 시사점들을 얻을 수 있는지 살펴보려고 하였다.

한편, 위와 같은 선행연구에서의 좋은 평가 외에도 Cooper 일반물리학 교재의 제목이나 내용에서도 본 연구에서 Cooper 일반물리학 교재를 연구의 대상으로 선정하게 된 독창적인 특징을 찾을 수 있었다. Cooper 일반물리학 교재의 제목의 경우 "PHYSICS: Structure and Meaning" 이라 되어 있다. 이는 대체적으로 많은 일반물리학 교재들이 "College Physics", "Fundamentals of Physics" 혹은 "Principles of Physics" 등의 제목을 가지고 있는 것에 비해 상당히 독특한 제목처럼 보인다. 이러한 점에서 볼 때, Cooper 일반물리학 교재는 물리학을 배우고 이해하는 데 있어서 그 구조와 의미에 대해 아는 것을 강조하는 것으로 보이며, 본 연구에서는 이러한 물리학의 구조와 의미가 물리학의 본질을 가르치는 것과 관련이 있는 것으로 보였고, 이에 대한 자세한 이해 또한 필요하다 생각하였다. 또한 Cooper 일반물리학 교재의 내용을 목차를 통해 살펴보게 되면 저자의 물리학과 자연에 대한 관점이 직접적으로 드러나 서술된 부분들을 찾을 수 있다. 예를 들면, 교재의 대단원 중 "EXPERIENCE, ORDER, AND STRUCTURE" 라는 단원은 그 단원명에서 보이는 것처럼 우리의 경험과 자연의 질서, 그리고 (물리학의) 구조에 대한 저자의 관점 및 생각을

서술하고 있다. 그 외에도 고전역학에 대한 대단원의 가장 마지막에서는 "The World as a Machine"이라는 장을 통해 저자의 고전역학에 대한 해석이 담긴 마무리 정리 내용을 서술한다던가, 혹은 상대성 이론에 관련된 대단원의 제목을 "SPACE AND TIME REEXAMINED" 라고 지어 대단원의 제목에서부터 저자가 생각하는 물리학 내용의 의미를 담아내려 하는 등의 독특한 내용 구성 및 단원의 제목 선정이 본 연구자로 하여금 Cooper 일반물리학 교재에 대한 자세한 탐구의 필요성을 느끼게 하였다.

위와 같이 선행연구에서의 좋은 평가 및 Cooper 일반물리학 교재의 제목과 내용에서 보이는 특징 외에도 본 연구자가 Cooper 일반물리학 교재에 관심을 가지고 이를 통해 대학 일반물리학 교육/교재에 대한 시사점들을 얻고자 하는 또 다른 이유는 교재의 저자인 Leon Cooper의 특징에 있다. 교재의 저자 Leon Cooper는 1972년 초전도 현상과 관련된 BCS 이론으로 노벨상을 수상한, 소위 물리학 분야에서 학문적으로 절정의 성취를 이뤄낸 학자이다. 역학이나 전자기학 등 세부 전공 물리학 교재들과 비교해볼 때, 일반물리학 교재의 저자들 중 Leon Cooper와 같이 노벨상을 수상할 정도의 성취를 이룬 저자는 매우 드문 경우라고 할 수 있다. 이와 같은 이론 물리학자로서의 Leon Cooper의 성취에 대해서 Lynch(2015)는 다음과 같이 높게 평가하고 있다.

Cooper is famous for his theoretical work on the phenomenon of superconductivity (roughly, an abrupt loss of electrical resistance at low temperatures), for which he was awarded the 1972 Nobel Prize in Physics, early in his career. Niels Bohr, Werner Heisenberg, and other giants had tried to develop explanations for the phenomenon, but resolution came only with the BCS theory of superconductivity that Cooper developed with his colleagues, John Bardeen and John Robert Schrieffer, who shared

in the prize. (Lynch, 2015, p.2)

더욱이 Cooper는 노벨상 수상 이후 인간과 과학, 가치의 문제 등 인문학적 주제에 관심을 가지기도 하였으며, 최근까지 뇌-과학과 관련하여 의식 및 학습 등 교육과 관련된 분야에서 연구를 수행하고 있다. 이와 같이 물리학의 대가(大家)로서의 성취를 이루었으며 인지 및 학습 등과 관련된 분야에서 연구를 수행하고 있는 물리학자인 Leon Cooper가 물리학 교육에 관심을 가지고 저술한 일반물리학 교재라면, 그가 물리학 교육에 대해 어떤 관점을 가지고 있는지, 그리고 그가 저술한 교재가 어떤 특징이 있는지 등에 대해 살펴보고 이를 통해 일반물리학 교재에 대한 시사점을 찾는 것은 상당히 의미가 있는 탐구라 본다. 특히 본 연구자는 Leon Cooper와 같이 높은 성취를 보인 물리학자라면 물리학의 참된 모습에 대해 상대적으로 더욱 깊이 이해하고 전할 수 있을 것이라 여겼다. 따라서 이런 점에서 볼 때, 본 연구자가 지향하는 물리학의 본질을 추구하는 물리학 교재로의 탐구의 시작으로 Leon Cooper의 일반물리학 교재를 살펴보고자 하였다. 더불어 최근의 과학교육 연구에서는 Leon Cooper와의 인터뷰를 통해 그의 물리학 교재의 저술 의도 및 물리학 교육에 대한 관점을 조사한 연구가 수행한 바 있다 (Niaz, Klassen, McMillan, & Metz, 2010). 이와 같은 연구의 결과는 Cooper 일반물리학 교재에 대해 탐구하는데 있어, 저자의 생각과 저술 의도 등과 함께 그의 일반물리학 교재에 대한 더욱 심도 있는 이해의 기회를 제공해 주었다. 따라서 이러한 점들도 본 연구자가 우선적으로 Cooper 일반물리학 교재를 연구의 대상으로 선정하여 더욱 긴밀히 살펴보고자 한 이유들이 되었다.

마지막으로, 본 연구자가 일반물리학 교재 연구에 있어서 우선적으로 Cooper 일반물리학 교재를 연구 대상으로 선택한 또 다른 이유는 연구자

외에도 Cooper 일반물리학 교재를 접하고 살펴보았던 다른 이들의 긍정적인 반응이 있었기 때문이다. 예를 들어, 한 학부생은 Cooper 일반물리학 교재를 접하고, 본인이 일반물리학 강의를 수강할 때 사용하였던 Halliday & Resnick 일반물리학 교재와 비교하면서 다음과 같이 그 소감을 말하였다.

(Halliday & Resnick 일반물리학 교재의 경우) ... 여기서 과학자들이 원자구조에 어떻게 관심을 갖게 되었는가에 대한 서술은 생략되어있다. 다만 매 챕터에서 지금 배우는 내용이 일상의 어떤 현상과 관련이 있는지 풍부한 예시를 들어줌으로써 구체적인 대상을 다루고 있다는 느낌을 들게 한다. 과학사적 내용이나 추론과정은 생략된 채 결과만 나열되어 있어서 (예로 어떤 과학자가 어떤 실험을 수행했고, 다음과 같은 결과를 얻었다는 식의 서술), 처음 배우기 전에 기대했던 '이런 실험을 왜 했고, 왜 이런 물리량을 정의하는가'와 같은 본질적 질문의 해답을 찾을 수는 없었다.

(Cooper 일반물리학 교재의 경우) ... 마치 책에서 의문을 제기하듯 내용이 진행되는데, 이후 원자구조까지 이 내용이 어떻게 진행되는지 궁금하게 만들었다. 동시에, '나라면 저런 관찰결과를 얻어도 장비 탓이겠거니 하고 넘어갈텐데' 하는 생각이 들었다. 뭔가 과학자들의 구체적인 행위들이 보여서 더 잘 읽혔던 것 같다. 톰슨의 음극선 실험 역시 이전에 어떤 논의들이 진행됐었고, 톰슨은 그런 논의들에 맞춰 어떤 실험을 고안했는지 그 발달부터 소개되어 있어서 설득력이 강하게 느껴졌다. (O민O, 연구자와의 면담에서, 2017)

이 학생은 기존에 사용하였던 Halliday & Resnick 일반물리학 교재에 대해서, 물리학 내용 지식을 일상에서의 현상과 관련지어 설명하고 있는 것이 주된 특징으로 보인다고 하였다. 그러나 이와 같은 개념들이 어떻게 형성되고 발전이 되었는지 등과 관련된 '본질적 질문'에 대한 언급은 없는 것으로 보았다. 한편, Cooper 일반물리학 교재는 원자의 구조 내용을 이끌어가면서

그 진행내용에 대해 궁금증을 불러일으키기도 하고, 물리학 개념들이 형성되는 과정을 보여주어서 설득력이 강하게 느껴졌다고 이야기하였다. 특히 이 학생은 Cooper 일반물리학 교재에서의 내용이나 물리학적 개념들이 역사 과목을 들을때와 비슷한 느낌이 들었으며, Cooper 일반물리학 교재는 과학사적 맥락이 두드러지는 특징을 갖는다고 보았다. 한편 또 다른 한 학부생은 마찬가지로 Cooper 일반물리학 교재를 접하고 살펴본 후에 다음과 같이 그 소감을 이야기하였다.

새로운 책 (Cooper 일반물리학 교재)의 경우에는 그러한 원자 모형이 “등장할 수밖에 없는” 이유를 제시하였다. Halliday의 교재와 같이 간단한 배경 지식만을 제시하면 누군가는 의문이 생기기 마련이다. 그러나 간단한 배경 지식에 더해, 더 자세한 이야기를 계속 첨가해 나가다 보면, 이러한 의문은 하나씩 ‘제거’된다. 마치 큰 파이를 베어 먹는 횟수가 늘어날수록 파이의 크기가 줄어드는 것처럼 말이다.

새로운 책은 간단한 배경 지식과 더불어 ‘더 자세한 맥락’을 제시하였다. 맥락을 더 제시하면 제시할수록, 읽는 사람이 가질 수 있는 의문점이 사라지고, 읽는 사람은 보다 더 명확하게 이해를 할 수 있게 된다. 따라서 새로운 책의 이러한 설명 방식은 “부연 설명”을 더 자세히 하였다고 말할 수 있겠다.

마지막으로, 새로운 책의 장점과 단점에 대해 서술해 보고자 한다. 우선, 장점은 당연하게도 이해하기 쉽다는 것이다. 부연 설명이 많아졌으니 이해하는 것이 쉬워졌음은 자명하다. 단점의 경우, 분량을 너무 많이 차지한다는 것이 있다. 맥락을 생략하면 원자 모형은 단 세 페이지 정도만으로도 설명할 수 있는데, 이 책은 부연 설명이 많았던 탓에 꽤 큰 분량을 해당 내용에 할애하였다.

개인적으로 물리를 가르치는 일에는 ‘상책’과 ‘중책’ 그리고 ‘하책’이 있다고 생각한다. ‘상책’은 자신의 “직접적인” 경험과 연관지어 설명하는 방법이고, ‘중책’은 타인의 ‘간접적인’ 경험과 연관지어 설명하는 방법이며, ‘하책’은 그

무엇도 아닌 경우이다.

오늘 보았던 이 교재의 경우, ‘중책’을 사용하였다고 할 수 있을 것이다. 이는 ‘하책’을 사용하는 Halliday의 교재보다는 훨씬 나은 방법이다. 그러나 물리교육을 전공하는 입장에서는, 아무래도 보다 더 나은 ‘상책’이라는 것이 있기 때문에 (물론 양자 역학적인 개념을 일상적이거나 직접적인 경험과 연관짓긴 힘들지만), 이 책은 ‘좋았으나 완벽하진 않았던’ 책이라고 평할 수 있을 것 같다. (O현O, 연구자와의 면담에서, 2017)

이 학생의 경우 '원자의 구조'와 관련된 단원들을 읽고 비교하면서, Cooper 일반물리학 교재가 원자 모형에 대한 등장 이유 및 배경 지식, 더 자세한 맥락을 제공하였다고 말하였다. 이 학생은 이와 같은 배경 지식 및 자세한 맥락으로 인해 내용의 이해가 쉬운 점을 Cooper 일반물리학 교재의 장점이라 설명하였다. 반면에 이로 인하여 분량이 많아진 것을 단점으로 꼽았다. 특히 이 학생은 물리학을 가르치는 데 있어서 자신의 직접적 경험과 연관지어 설명하는 방식을 가장 좋은 가르침이라고 생각하고 있었다. 그래서 Cooper 일반물리학 교재가 직접적인 경험과 연관되어 있지 않고 타인의 간접적인 경험과 연관지어 있기에 좋은 책이긴 하나 완벽하지는 않은 책이라고 설명하였다. 또 한편, 본 연구자는 다년간의 일반물리학 강의의 경험이 한 강의자에게 Cooper 일반물리학 교재를 소개해주었고, 그는 이 교재에 대한 인상에 대해 자신의 강의 경험과 연관지어 다음과 같이 이야기하였다.

Cooper 의 물리학 교재는 일반물리학을 가르치는 나에게 커다란 충격이었다. 나는 그동안 Halliday나 Serway 책을 교재로 삼아 일반물리학 강의를 했었는데, 이 책들은 수많은 연습문제를 포함하고 있기 때문에 학생들을 훈련시키는 것과 평가에 있어서 용이한 점은 있었다. 그러나 이론이 등장하게 된 맥락이 없이 수많은 지식들이 나열되어 있다는 인상을 받았기 때문에 이 부분을 보완하기

위해서 나는 물리학사를 다룬 책들을 별도로 찾아본 후 수업 때 소개해주곤 했다. 또 Halliday나 Serway의 책은 내용지식이 일상 속에서 어떻게 쓰이는지 구체적인 예시를 많이 제시하고 있기 때문에 학생들의 흥미를 유발하는데 매우 효과적이었음에도 불구하고, 강의자로서 나는 ‘이러한 흥미가 내가 가르치는 것의 전부인가?’하는 의심을 늘 가지고 있었다. 의 물리학 교재는 이러한 부분-이론의 맥락에 대한 갈증과 단순한 흥미 이상의 추구-을 시원하게 해소해주었다. Cooper는 어떤 이론을 설명하든지 당시 과학자가 어떤 것을 고민했고 깨달았는지 그 과학자들이 했던 말을 직접 인용하는 경우가 많았는데, 이를 읽고 있노라면 생생한 과학의 현장으로 초대받은 느낌이 들었다. 마치 역사 시간에 교과서로만 중세의 역사를 공부하다가 어느 날 문득 중세시대에 대한 영화 한 편을 보게 되면서 생생한 그 시대 속으로 직접 들어간 느낌이었을까? Cooper의 책에서는 모든 내용 지식의 연결이 자연스러웠다. 강의자 이전에 일반 독자로써 너무 재밌었고, 이것을 열른 학생들에게 전달해주고 싶어졌다. 아니, 학생들에게 Cooper의 책을 미리 읽어오라고 한 다음, 수업시간에 읽은 바 내용을 함께 토론하면서 나누고 싶어졌다. 이렇듯 Cooper의 책은 강의자로서의 내게 새로운 일반물리학 수업을 꿈꾸도록 하였다. 또한 Cooper의 책을 읽고 있으면 인간이 자연에 대해 무엇을 궁금해하고, 어떻게 탐구해오고 있는지를 분명하게 알 수 있었다. 단지 일상에서 벌어지는 현상을 과학이 잘 설명한다는 것을 넘어서 인류가 오래 전부터 품고 있던 근본적인 질문이 무엇인지 생각하게 되었다. 그리고 이 부분을 학생들과 나누고 싶어졌다. 다시 일반물리학 수업을 하게 된다면 Cooper의 책을 주 교재로 삼고 연습문제가 풍부한 다른 책들은 부교재 정도로 삼아서 수업을 진행하고 싶다. (그렇다고 해서 Cooper의 책이 연습문제가 없는 것도 아니다. 관련 내용에 대한 한, 두 문제 정도의 간략한 예제를 포함하고 있는데 나는 학생들이 그 정도만 풀 수 있어도 충분하다고 생각한다. (O홍O, 연구자와의 면담에서, 2017)

이 강의자의 경우 학생들에 비해 좀 더 Cooper 일반물리학 교재에 강력한

인상을 받았음을 표현하고 있다. 그는 주로 기존에 많이 쓰이는 일반물리학 교재인 Halliday 일반물리학 혹은 Serway 일반물리학을 교재로 하여 일반물리학 강의를 하였는데, 기존의 교재들에게서는 이론의 등장 맥락 없이 지식이 나열되어 있다는 인상을 받아 별도로 물리학사를 다룬 서적들을 찾아본 후 학생들에게 소개해주곤 하였다고 밝혔다. 또한 Halliday 혹은 Serway의 일반물리학 교재들이 물리학 내용 지식의 일상적인 쓰임새들을 많이 제시하고 있어 학생들의 흥미를 자아내기는 하지만, 한 사람의 강의자(혹은 교육자)로서 흥미를 유발하는 것이 가르침의 전부인지 의문을 갖게 되었다고 표현하였다. 이 강의자는 Cooper 일반물리학 교재가 그의 어려움을 해소해 주는 교재라 느꼈다고 하였다. 그는 Cooper 일반물리학 교재가 단지 물리학사를 생생하게 보여주고 있다는 점 외에도 교재가 좀 더 인류가 근본적으로 가지고 있던 질문에 대해 다루고 있다는 것을 인상깊게 느꼈다고 말한다. 심지어 그는 Cooper 일반물리학 교재를 주된 교재로 삼아 일반물리학 강의를 해도 충분할 것이라 생각한다고 말하였다.

이처럼, Cooper 일반물리학 교재의 선행연구에서의 좋은 평가뿐 아니라, 교재의 제목 등에서 보이는 독창적인 부분들, 저자의 생각이나 물리교육에 대한 관점 등을 파악할 수 있다는 점, 그리고 실제 Cooper 일반물리학 교재를 접한 학생이나 강의자들의 반응들 등을 통해 본 연구자는 대학 일반물리학 교재를 분석하고 파악하는 연구의 우선적인 대상으로서 Cooper 일반물리학 교재를 선정하여 자세히 분석하고 그 특징에 대해 구체적으로 알아보고자 하였다.

3. 연구의 질문과 연구 내용

3.1. 연구의 접근방식

위와 같은 본 연구자의 연구 문제에 대한 인식에 따라 본 연구에서는 Cooper 일반물리학 교재에 대한 구체적인 이해를 추구하고 이를 통해 대학 일반물리학 교재와 관련해 얻을 수 있는 시사점들을 논의하고자 한다. 이러한 본 연구는 앞서 연구자가 밝힌 것처럼 물리학의 본질을 가르치는 것을 추구하는 물리학 교재에 대한 연구자의 지향으로부터 비롯되어, “그러한 일반물리학 교재는 구체적으로 어떠한가?”라는 연구자의 근본적인 질문으로부터 시작되었다고 볼 수 있다. 그런데 이와 같은 질문에 대한 답을 처음부터 구체적이면서 객관적으로 제시한다는 것은 쉽지 않은 일이다. 다시 말해, 물리학의 본질을 가르치는 일반물리학 교재는 어떠한가 하는지 구체적으로 규정한 후에 이를 기준으로 위에서 아래로(top-down)의 방식으로 다양한 교재들을 평가하고 좋은 교재를 선정하는 것은 매우 어려운 일이라는 것이다. 사람에 따라 물리학에 대한 혹은 물리학 교재에 대한 관점들이 천차만별로 다르기에, 따라서 모든 사람들이 납득하고 인정할 수 있는 객관적인 물리학 교재의 기준을 제안하는 연구는 상당히 어려운 연구가 될 것이다. 한편, 이와는 반대로 긍정적으로 평가되는 일반물리학 교재의 사례를 통해 그것을 면밀하게 살펴보고, 그 사례로부터 드러나는 특징들을 이해하면서 물리학의 본질을 가르치는 일반물리학 교재가 갖추어야 할 특징들이 어떤 것들이 있는지 찾아갈 수 있을 것이다. 즉, 실제 사례로부터 연구 문제에 대한 답을 찾아가는 아래에서 위로(bottom-up) 방식의 탐구인 것이다. 과학교육 연구에서 이와 같은 방식으로 수행된 연구의 예로서 최근 초, 중등 과학교육에서의 '좋은 과학수업이란 어떤 것인가'에 대한 연구가 있다. 이를 살펴보면, '좋은 과학수업'에 대한 정의와 기준을 제시하고 수업들을 평가하는 위에서 아래로(top-down) 방식의 논의들보다는, 다양한

수업의 사례들 및 교사들의 인식조사들을 통해 '좋은 과학수업'이 어떤 것인지 탐구해나가는 아래에서 위로(bottom-up) 방식의 논의들이 많은 것을 찾아볼 수 있다 (곽영순, 김주훈, 2003; 오필석, 2013; 이봉우, 2016 등). 또한 최근에는 대학에서의 인문-사회 계열의 강의 사례들을 분석하여 '좋은 대학수업'의 특성을 탐색하고 제안하는 방식의 연구 또한 수행된 바 있다 (안지혜, 2012). 이와 같은 연구의 접근을 기초로 하여 본 연구에서는 먼저 물리학의 본질을 가르치는 물리학 교재에 대한 연구자의 지향이 무엇인지 이론적인 논의들을 통해 검토하고자 하며, 이후 긍정적 평가를 받는 일반물리학 사례로서 Cooper 일반물리학 교재가 물리학의 본질을 가르치는 물리학 교재를 지향하는 본 연구자에게 어떠한 구체적인 시사점들을 주는지 살펴보고 이에 대해 논의하고자 한다.

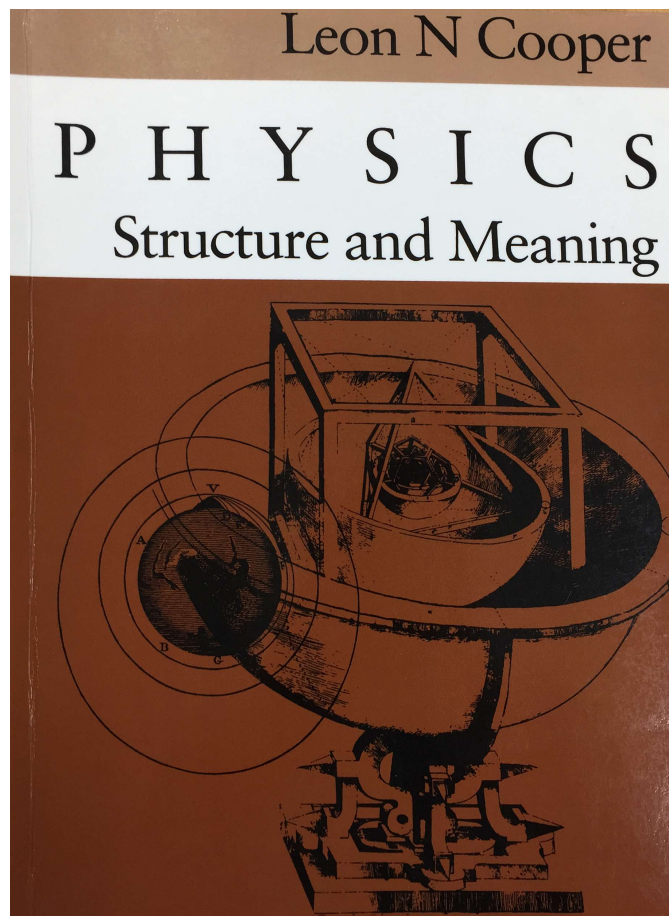
이와 같은 방식으로 접근하는 연구는, 특정한 교육적 상황(혹은 현상)을 택하여 그 현상을 면밀히 살펴보고 분석함으로써 그 교육적 상황에 대한 깊은 이해를 추구하고, 이를 통해 교육적 시사점들을 얻는 방식인 일종의 '사례연구' 방법을 사용한 것이라 할 수 있다. 사례연구는 질적 연구를 하는 일반적인 방법이다. 사례연구의 목적은 추상적이거나 경험적인 일반화가 아니라, 주어진 사례에 적합한 분석을 통해 주어진 현상에 대한 타당한 이해와 해석을 제공하려는 것이다 (곽영순, 2009). 그러나 사례연구는 지나치게 극단적인 개별성만을 강조하는 연구라 할 수도 없다. 박수연(1997)이 정리한 사례연구의 개별성의 특성에 의하면, 사례연구는 유사한 상황에서의 규범적인 일들을 제시하거나 혹은 특정 상황 속에서 일반적인 문제성을 조명하게 하는 특성이 있다. 이러한 사례연구의 특성의 측면에서 볼 때, 사례 교재를 선정하고 사례 교재를 통해 대학 일반물리학 교재의 이해와 개발에 대한 시사점을 찾고 논의하고자 하는 본 연구의 취지와 적합하다고 볼 수 있다. 또한 사례연구에서는 종종 '단독 사례로부터

무엇을 배울 수 있는가'라는 질문이 제기되곤 한다. 단독 사례를 통해 배우는 방법은 대체적으로 비교나 대조를 통해 우리가 기존에 알고 있는 다른 사례들과 얼마나 유사한지 혹은 차별화되었는지를 분석하는 것이다. 이런 맥락에서 사례연구의 유용성은 경험의 확장에 기여하는 것이라 할 수 있다 (곽영순, 2009). 본 연구는 Cooper 일반물리학 교재를 사례로 선정하고 이에 대한 특징을 파악하고 일반물리학 교재에 대한 시사점을 논의하는 과정에서 기존에 우리가 흔히 알고 있는 사례인 Halliday & Resnick 일반물리학 교재와 비교 및 대조함으로써 더욱 일반물리학 교재에 대한 이해와 향후 교재 분석 및 개발에 대한 시사점을 이끌어내는데 기여할 수 있을 것이라 생각된다. 한편, 사례연구의 또 다른 가치는 이론의 일반화 가능성의 한계를 설정하도록 도울 뿐 아니라, 이론을 정교화하고 후속연구에서 해결해야 할 과제들을 제안하는 데 있다. 예를 들어 수업 연구의 경우 단독적인 수업 사례를 분석하여 그 사례로부터 배울 수 있는 것들을 탐색하고, 그것들이 어떻게 우리의 교육 실천 경험을 확장시키며 어떤 시사점들을 제공하는지 논의하는 방식으로 연구가 수행될 수 있다. 본 연구 또한 마찬가지로 Cooper 일반물리학 교재 사례를 분석하여 이를 통해 배울 수 있는 것들을 이끌어내고, 그것들이 일반물리학 교재에 대한 교육적 실천 경험들을 어떻게 확장시키며 시사점을 제공하는지 논의하는 방식으로 연구를 수행하고자 하였다.

3.2. 연구 대상과 구체적인 연구 내용

이와 같이 본 연구의 사례로서 연구 대상인 Cooper 일반물리학 교재는 국내외적으로 잘 알려지거나 혹은 일반물리학 강의에서 잘 사용되지 않는 교재이다. 이 교재는 Leon Cooper에 의해 1968년에 먼저 저술되었고 1970년에 개정되어 출판된 바 있다. 본 연구의 계기를 마련해준 Rodríguez

& Niaz (2004) 의 선행연구에서는 1970년에 출판된 Cooper의 일반물리학 교재 개정판이다. 이후 이 교재는 1992년도에 수학적 전개 부분과 연습문제의 일부를 축소시킨 버전으로 다시 출판되었다. 본 연구에서는 Cooper가 저술한 일반물리학 교재 중에서도 가장 최근의 버전이라 볼 수 있는 1992년도에 출판된 교재를 대상으로 하여 연구를 수행하였다. 본 연구의 대상인 Cooper 일반물리학 교재의 모습을 살펴보면, 그 표지는 다음의 그림 I-1과 같으며, 대체적으로 본문의 모습은 다음 그림 I-2와 같다.



[그림 I-1] Cooper 일반물리학 교재의 표지

29

DISCOVERY OF THE ELECTRON

THOMSON'S EXPERIMENT

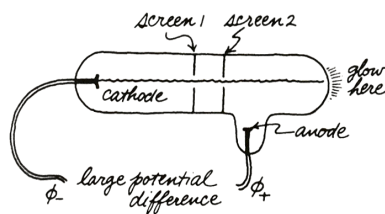
The hypothesis of the atom, that irreducible entity, patterns of which in the void form the objective world as we see it, is as old as our civilization:

Nature resolves everything into its component atoms.¹

For Newton, hard, massy, and indivisible; the atom of kinetic theory, whose average kinetic energy is what we read as temperature; the atom of the chemist, whose uniform combinations reveal its presence in chemical reactions; the hydrogen atom of Prout, combinations of which make up all the elements. Often in disrepute, often in the background, for at least 25 centuries the concept of the atom had existed.

But what was the atom? What meaning did it have to ask the question? By the turn of the century the elaborate development of classical theory and the introduction of new techniques made possible an increasingly insistent and detailed return to this question: What is the nature of the atom? That theme and its variations develop into a major movement of twentieth-century physics.

In the later part of the nineteenth century, many studies were made of the discharge of electricity through rarefied gases. These discharges (produced with an induction coil or electrostatic machine—either capable of creating large potential differences) were passed between a negative terminal, called a *cathode*, and a positive terminal, called an *anode*, both of which were sealed into a glass tube from which most of the air had



[그림 1-2] Cooper 일반물리학 교재 본문 예시

특히 교재의 본문의 모습에서 볼 수 있듯, Cooper 일반물리학 교재의 본문 디자인은, 최근의 대중적인 일반물리학 교재들처럼 깔끔하고 세련된 텍스트 디자인들로 구성되어 있기 보다는, 일반적인 과학/물리학 교양서적과 같은

방식으로 텍스트가 전개되어 있으며, 본문에 삽입된 그림들 역시 화려한 사진이나 컴퓨터 그래픽으로 제작된 일러스트 보다는 직접 손으로 그린 듯한 그림들로 채워져 있다는 특징적인 점들이 있다.

이와 같은 Cooper 일반물리학 교재를 중심으로, 본 연구는 먼저 물리학의 본질을 가르치는 것을 추구하는 일반물리학 교재에 대한 연구자의 지향을 검토하고, 이와 같은 교재가 갖추어야 할 구체적인 특징 혹은 구체적인 요소와 관련하여 Cooper 일반물리학 교재를 분석하여 탐색하고 그 결과를 논의하는 것에 그 목적이 있다. 이에 본 논문에서는 우선적으로 물리학의 본질을 가르치는 일반물리학 교재에 대한 연구자의 지향이 무엇인지에 관하여 이론적으로 검토할 것이다. 이처럼 물리학의 본질을 가르치는 물리학 교재에 대한 연구자의 지향에 관하여 이론적으로 검토하는 내용은 II장 이론적 배경에서 자세히 다룰 것이다. 이러한 이론적 검토는 본 연구에서 Cooper 일반물리학 교재의 분석 결과에 대한 이해와 해석에 대한 기초적인 프레임을 제공할 것이다. 물리학의 본질을 가르치는 물리학 교재에 대한 기초적인 이론적 검토 이후에 본 논문은 사례 일반물리학 교재인 Cooper 일반물리학 교재의 특징을 면밀히 분석하여 심층적인 이해를 추구할 것이며, 이를 통해 얻어지는 물리학의 본질을 가르치는 물리학 교재와 관련된 구체적인 시사점들을 논의할 것이다. 이를 위해 먼저 본 연구에서는 Cooper 일반물리학 교재를 분석하기 위한 첫 단계로서 기존의 교재 분석에 관한 연구 및 교재 분석틀들을 검토하였다. 그러나 기존의 많은 분석틀들은 교재의 형식적인 측면을 중심으로 구성되었거나, 혹은 교육과정과의 일치성을 중심으로 구성되었거나, 또는 교수-학습 이론에 근거한 요소들을 중심으로 구성된 분석틀이 대부분이다. 본 연구에서는 이와 같은 기존의 교재 분석틀로는 연구자가 인식한 Cooper 일반물리학 교재의 구체적이면서도 차별화된 질적인 특징을 잘 반영하여 보여주기 어렵다고 보았다. 본

연구에서는 일반물리학 교재의 질적인 특징들을 잘 반영하여 드러낼 수 있는 연구의 방법을 탐색하고, 탐색한 연구의 방법에 따라 Cooper 일반물리학 교재의 특징을 잘 드러낼 수 있는 교재 분석 연구를 수행하고자 하였다. 이에 본 연구에서는 Cooper 일반물리학 교재의 특징을 파악하고 이해하기 위한 과정으로서 1) '원자의 구조' 단원을 대상으로 하여 교재의 본문 서술에서 나타나는 특징을 분석하고, 2) 교재 전체 내용 구성 속에서의 '원자의 구조' 단원의 관계 및 그 내용 구성의 특징을 분석하였다. 마지막으로 3) Cooper 일반물리학 교재 분석의 결과를 더 체계적으로 분석하여 교재의 특징을 종합적이면서도 심도 있게 이해하고자 하였다. 이를 위해서 본 연구가 공동연구로 개발하였던 과학 교재 분석틀을 일반물리학 교재 분석틀로 발전시켰다. 여기서 본 연구가 Cooper 일반물리학 교재를 분석하고 파악하는 데 있어 '원자의 구조' 단원을 중점적으로 살펴본 이유는 다음과 같다. 첫째, '원자의 구조'와 관련된 내용은 "물질의 근원이 무엇인가?"라는 질문에 대한 탐구라 할 수 있다. 이것은 물리학을 포함한 과학에 있어서 매우 근본적이면서도 핵심적이고 중요한 질문이다. 물리학의 본질을 가르치는 것을 추구하는 물리학 교재라면, 물리학의 본질적인 질문들에 대한 탐구 내용을 다루어야 한다고 생각된다. 따라서 물리학 교재의 '원자의 구조' 단원을 살펴보는 것은 물리학의 본질적인 질문 중의 하나를 교재가 어떤 식으로 다루고 있는지를 살펴보는 것이며, 이것은 물리학의 본질을 가르치는 교재를 지향하며 교재를 연구함에 있어 중요하다고 보인다. 둘째, 원자의 구조와 관련된 내용은 고전역학에서 양자역학으로 이어지는 내용에서 중요한 다리 역할을 하고 있는 내용이다. 따라서 원자의 구조에 대한 탐구 내용을 잘 파악하고 이해하는 것이 이후의 양자역학을 학습하고 이해하는데 큰 도움이 될 수 있을 것이다. 이러한 점에서 보았을 때 물리학 교재가 고전역학과 양자역학의 중간 단계로서 원자의 구조 내용을 어떻게

담아내고 있는지를 살펴보는 것이 교재의 특징을 이해하고 이를 통해 시사점을 얻는데 있어 중요한 지점이 될 수 있으리라 본다. 특히 선행연구들에 의하면 원자의 구조와 관련된 과학사적 내용들은 학생들에게 과학의 본성적인 측면이 잘 드러나게 가르칠 수도, 혹은 그냥 넘어갈 수도 있는 부분이기 때문에, 이 내용을 어떻게 다루느냐를 살펴봄으로써 교재의 지향이나 특징 등을 우선적으로 파악할 수 있다고 생각된다. 한편, 본 연구에서는 Cooper 일반물리학 교재의 특징을 더욱 명확하게 보이기 위하여 기존에 일반물리학 강의의 교재로 흔히 사용되고 있는 Halliday & Resnick (2013) 일반물리학 교재를 함께 비교 분석하였다. 구체적으로 본 연구에서 위와 같은 과정에 따라 설정한 구체적인 연구 질문과 이에 해당하는 연구 내용들은 다음과 같다.

1) Cooper 일반물리학 교재 '원자의 구조' 단원 내용 서술의 특징은 어떠한가?

이 연구에서는 교재의 구체적인 서술 내용에서 드러나는 특징을 살펴보고자 하였다. 여기서는 질적 연구 방법론 중 근거 이론(ground theory) 방법론에 기초하여, 원자의 구조 단원 본문의 문장들을 세부적으로 하나하나 분석함으로써 Cooper 일반물리학 교재의 본문 서술의 특징을 알아보고자 하였다. 이를 통해 구체적으로 Cooper 일반물리학 교재가 본문 서술을 통해 어떤 것들을 독자들에게 전하려고 하는지, 저자가 물리학을 가르치는데 있어 가지고 있는 생각이 어떻게 드러나는지, 그리고 교재가 물리학을 가르치는 방식은 어떠한지 등에 대해 탐구하고, 교재의 본문 내용에 대해 세부적으로 이해하고자 하였다. 이와 같은 교재 본문의 세부적 분석 연구의 결과는 본 논문의 III장에서 다뤄질 것이다.

2) Cooper 일반물리학 교재는 '원자의 구조' 단원 내용을 어떤 구성으로 전개하고 있는가?

이 연구에서는 Cooper 일반물리학 교재의 '원자의 구조' 단원이 어떤 내용 구성의 흐름으로 저술되었는지 살펴보고자 하였다. 우선적으로 Cooper 일반물리학 교재가 물리학의 전체적인 내용을 어떻게 구성하고 이러한 전체 흐름 속에서 '원자의 구조'와 관련된 내용을 어떻게 다루고 있는지 살펴보았다. 그리고 구체적으로 '원자의 구조' 단원이 어떤 내용 구성의 흐름으로 저술되었는지 살펴보았다. 이러한 내용 구성의 분석을 위해 Klassen (2010)이 제안한 이야기 구조(story structure) 모형을 기초로 하여 본 연구자가 확장시킨 플롯-이야기(plot-story) 구조로 일반물리학 교재 '원자의 구조' 내용의 구성과 흐름을 분석하고자 하였다. 이를 통해 구체적으로 교재가 원자의 구조 내용을 전개하는데 있어 어떤 내용 요소들을 포함하고, 어떻게 배열하였는지의 등을 분석하였다. 특히 Halliday & Resnick 일반물리학 교재를 함께 분석하고 비교함으로써 Cooper 일반물리학 교재의 내용 구성의 특징을 더욱 명확히 이해하고자 하였다. 이와 같이 Cooper 일반물리학 교재 전체 구성 및 원자의 구조 내용의 구성을 분석한 연구의 결과는 본 논문의 IV장에서 다룰 것이다.

3) Cooper 일반물리학 교재의 특징을 어떻게 체계적이고 종합적으로 이해할 수 있는가?

이 연구에서는 앞서 분석된 Cooper 일반물리학 교재의 서술의 특징과 내용 구성의 특징들을 종합적이면서도 체계적으로 이해하는 것을 추구하였다. 이를 위해 본 연구에서는 Martin Eger (1989)가 제안한 '과학의 관심'(Interest of Science) 개념을 바탕으로, 물리학 교재의 질적인 특징들을 총체적으로 분석하고 해석하기 위한 분석틀을 개발하였다. 이러한 분석틀은 2012년에 본

연구자를 비롯한 3명의 연구자가 과학교재 분석을 위해 개발한 분석틀을 본 연구에 맞게 수정 보완한 것이다. 이 연구에서는 이와 같이 개발된 분석틀을 통하여 Cooper 일반물리학 교재에서 드러나는 특징들이 어떻게 종합적이고 심도 있게 이해될 수 있는지 분석하였다. 이와 같이 Cooper 일반물리학 교재의 총체적 분석과 그 결과의 이해에 관한 내용은 본 논문의 V장에서 다룰 것이다.

이와 같은 연구문제들을 중심으로 본 연구에서는 Cooper 일반물리학 교재를 분석하여 그 특징을 파악하고자 하였다. 그리고 이러한 특징들이 물리학의 본질을 가르치는 물리학 교재를 지향하는 관점에서 보았을 때, 어떤 배울 점들을 제공하며, 또한 어떤 점들이 부족하고 보완해야 할 것인지 살펴보고자 한다. 끝으로 이를 종합하여 추후 일반물리학 교재의 이해와 개발에 대한 본 연구의 시사점들을 남기고자 한다.

II. 이론적 배경

1. 물리학의 본질을 추구하는 것

우선적으로 본 연구자가 지향하고 있는 물리학의 본질을 추구하는 것이 구체적으로 무엇을 말하는지에 대해 검토해볼 필요가 있다. 앞서 서론에서 간략히 언급한 것처럼, 기존의 물리교육을 포함한 과학교육 연구들은 명제적인 과학(물리학) 지식 전달 위주의 교육을 비판하면서, 과학교육은 학생들에게 과학의 특정 측면만이 아닌 참된 본질을 제대로 가르쳐야 한다고 강조해왔다. 이러한 연구 및 교육적 주장의 맥락 가운데 최근까지도 가장 두드러지게 논의되고 있는 주제는 과학의 본성(nature of science)이라는 개념이다.

과학의 본성은 아는 방법으로서의 과학 혹은 과학적 지식과 그 발전의 가치 및 이해를 포함하는 개념이다 (Lederman, 1992; McComas & Oslen, 1998 등). 그러나 구체적으로 과학의 본성이란 무엇인가에 대해서 명확한 정의는 아직 논쟁적이며, 심지어 그것의 존재 자체에 대한 논쟁 또한 지속적으로 이루어져 왔다. 이러한 가운데 Lederman(1998)과 Hogan(2000)은 이와 같은 논쟁들이 바로 철학자, 역사학자, 과학자들의 과학의 본성에 대한 이해가 서로 각각 다르기 때문에 발생하는 것이라고 주장하였다. 그러나 이와 같이 관련된 각 분야의 전문가들이 가지고 있는 과학의 본성 개념에 대한 인식 혹은 이해가 다르다 하더라도, 학생들에게 과학의 본성을 가르치는 것에 관련하여 공통적으로 동의되어 논의가 이루어지고 있는 사항들이 있다 (Khishfe & Abd-El-Khalick, 2002; Lederman, Abd-El-Khalick, Bell, & Schwartz, 2002 등). 첫째는 과학에 대한 인식론으로서, 과학 지식이 어떻게 만들어지며, 과학 지식을 구성하는 사실, 법칙, 개념, 이론 등이 무엇을 의미하는지에 대한 이해이다. 둘째는, 과학적 방법에 대한 내용으로서, 과학

적 연구의 의미, 과학과 비-과학의 차이, 과학의 능력이나 그 한계 등을 이해하는 것을 포함한다. 마지막으로 셋째는, 과학 지식과 과학 지식의 발달과정에 관계되는 가치에 관련된 내용이다. 이 내용은 과학을 인간 활동으로서 이해하며 과학이 사회와 문화에 미치는 영향을 이해하고, 현명한 의사결정을 내리는 것을 포함한다. 많은 과학교육 연구들이 위와 같은 범주들을 중심으로 과학의 본성을 교육과정, 수업, 및 교과서 등에 적용시켜야 함을 주장하고 그 방안들에 대해 탐구해왔다.

위와 같은 과학의 본성(nature of science)에 관한 논의 외에 본래적이고 본질적인 과학을 학생들에게 가르치고자 하는 또 다른 접근으로 과학의 탐구로서의 성격을 중점적으로 강조한 연구들도 다수 이루어져왔다. 특히 미국의 국가 과학 교육 기준(National Research Council, 2000)에서는 학생들에게 실질적인 과학 탐구(authentic scientific inquiry)³⁾로서 과학 탐구 교육을 강조하였는데, 여기에는 연구 문제의 선정, 연구 방법의 선정, 실제적 탐구의 방법, 탐구 과정 중 동료들과의 소통, 탐구의 자세 등이 그 항목으로서 포함되어 있다. 이와 같은 과학 탐구의 측면에서의 실질적 과학 탐구(혹은 참 과학 탐구라고도 한다)는 미국에서 뿐 아니라 국내에서도 강조되면서 많은 연구들이 수행되어 왔다 (박영신, 2006; 김미경, 김희백, 2007; Park, 2008; 강은주, 김선자, 박종욱, 2009; 박재용, 이기영, 2011; 이상균, 김순식, 2012 등)

그런데 이와 같은 논의들은 흔히 과학 지식의 잠정적인 성격이나 과학의 방법적 측면들을 강조하고 있으며, 이를 통해 학생들의 과학적 소양을 함양시

3) 일반적으로 “authentic” 이라는 단어는 “본래적인”, “본질적인”의 뜻을 가지고 있다. 이에 본 연구자 또한 “authentic science”를 “본래적인 과학” 혹은 “본질적인 과학”이라는 의미로 사용하고 있다. 그러나 국내의 과학교육 연구들에서는 “authentic scientific inquiry” 용어를 실질적 과학 탐구 혹은 참 과학 탐구라고 번역하여 사용하고 있음을 확인할 수 있었다.

키는 것에 중점을 두고 있다. 대표적인 예를 들어, 강석진 & 노태희 (2014)는 과학의 본성을 어떻게 가르칠 것인지에 대해 논의하는 그들의 저서에서, 학생들에게 과학 지식의 객관성 및 절대성의 문제, 과학적 방법, 과학 지식의 형성, 그리고 과학과 사회의 관계에 대한 내용을 가르치는 방식에 대해 중점적으로 다루는 모습을 보였다. 이러한 상황과 관련하여 Hodson (2014)은 그동안의 과학의 본성에 관한 연구들을 돌아보며, 많은 과학의 본성과 관련된 연구들이 과학적 지식의 특성(즉, 인식론적인 문제에 대한 고려)들만을 제한적으로 논의하고 있으며, 과학 탐구의 본질에 대한 고려는 배제하고 있다고 지적하였다. 그러나 분명 과학적 지식의 특성이나 과학의 탐구로서의 성격을 가르치는 것은 중요하지만, 이것이 과학의 (혹은 물리학의) 본질을 가르치는 것을 의미한다고 볼 수 있을지는 의문이 든다. 물리학의 본질을 온전하게 가르친다는 것은 다르게 표현한다면 물리학을 물리학답게 가르치는 것을 의미한다고 볼 수 있다. 따라서 이런 의미에서 보았을 때, 과연 물리학(과학) 지식에 대한 인식론적 주제나 과학적 탐구 등을 강조하여 가르치는 것만으로 물리학답게 물리학을 가르치는 것이라 하기 어렵다. 왜냐하면 물리학이라는 학문 활동이 단지 ‘탐구’라는 말로 대표될 수 있는 활동이라 보기도 어려울 뿐 아니라, 물리학 지식에 대한 인식론적 논의들(사실 주로 과학철학의 분야에서 이뤄지고 있는)에 대한 지식 역시 그것이 학생들이 배워야 할 물리학을 본질적으로 또는 핵심적으로 이야기하고 있다 보기도 어렵기 때문이다. 물론 본 연구자는 그동안의 과학교육 연구들이 과학적 개념 등의 지식들을 결론적인 명제 형태로 학생들에게 전달하기만 하는 것에 대해 비판하고 있다는 점과, 그리고 이에 과학적 지식의 인식론적 차원에서의 논의들이나 과학의 탐구로서의 성격 등이 학생들에게 과학을 가르치는 데 있어 중요하게 다뤄져야 한다고 강조하는 것 등에 대해서 동의하고 있다. 그러나 비록 그동안 과학적 명제 지식만을 강조하며 가르쳐 온 이전의 과학교육을 비판한다 하더라도, 과

학적 지식의 내용 그 자체에 대한 교육적인 중요성을 놓쳐서는 안 된다고 본다. 과학이라는 단어는 라틴어에서 “지식”이라는 의미를 갖는 scientia에서 기원하였는데, 이는 시험 가능한 설명이나 예상의 형태로 지식을 구성하고 정리하는 체계적 인간의 활동으로 정의되며, 전통적인 관점에서 과학은 자연세계에 대한 지식체계를 의미한다 (이영희, 2017). 따라서 과학 혹은 물리학의 본질을 논함에 있어 과학적 지식의 인식론적 차원의 주제나 혹은 과학의 탐구적 성격도 매우 중요하게 다뤄져야 하지만, 과학이 자연세계에 대한 지식체계로서의 본질적인 성격을 가진다는 것 또한 간과해서는 안 될 매우 중요한 측면이라 생각한다. 이에 본 연구자는 학생들에게 물리학의 본질을 가르치는 것이 무엇인지에 대해 물리학의 탐구적 성격과 지식체계로서의 성격들을 함께 통합적으로 아우를 수 있도록 또 다른 방향으로의 접근을 통해 그 의미를 탐색하였다.

1.1. 물리학의 본질을 추구한다는 것

본 연구자는 학생들에게 물리학의 본질을 가르치는 것이 무엇인지를 탐색하는데 있어, 그동안 교육학 분야에서 많이 다루어졌던 실천전통(practice) 개념에 대한 논의에서 출발하고자 한다. 실천전통의 개념은 MacIntyre(1984)의 아이디어로부터 출발한 개념이다. MacIntyre는 우리의 지식은 그것을 이해할 수 있는 맥락에서 이해해야 온전하게 이해될 수 있음을 주장하며, 다음과 같은 사고실험을 통해 그 중요성을 설명하였다.

자연과학이 재난의 결과로 말미암아 고통을 당한다고 상상해 보자. 일반대중들은 일련의 환경재해들이 자연과학자들의 책임이라고 비난한다. 광범위한 폭동이 일어나고, 실험실들은 불타고, 과학자들은 구타를 당하고, 책과 기구들은 파괴된다. 마침내 "아무것도 모른다"는 지식무용론의 정치적 운동이 세력을 얻고, 학교

와 대학에서의 과학 수업을 성공적으로 폐지하고, 남아 있는 과학자들을 투옥하고 처단한다. 한참 지난 후에 이 파괴적 운동에 대한 반동적 움직임이 일어나, 계몽된 사람들은 비록 과학이 어떤 것이었는지를 대부분 잊었지만 과학을 부활시키려 한다. 그렇지만 그들이 가지고 있는 것은 단편들뿐이다. 실험들에 의미를 부여하는 이론적 콘텍스트에 대한 지식으로부터 유리된 몇몇 실험들에 관한 지식, 그들이 소유하거나 또는 실험한 다른 이론의 편린들과 전혀 관계지을 수 없는 이론의 조각들, 사용법을 잊어버린 도구들, 한 장의 반쪽가량이 날아가버린 책, 논문 중에 남아 있는 낱장들, 찢겨지고 까맣게 타버려 완전하게 읽을 수 없는 것들이다. 그럼에도 불구하고 이 모든 단편들을 물리학, 화학, 생물학이라는 부활된 이름으로 분류되는 일련의 실천체계로 다시 구현된다. 성인들은 비록 지극히 단편적인 지식만을 보유하고 있지만 상대성 이론, 진화론, 연소이론이 가지는 각각의 장점에 관해 서로 토론한다. 아이들은 원소주기표의 남아 있는 부분을 암기하고, 유클리드 기하학의 일반원리가 부활한 듯 이를 낭송한다. 아무도, 거의 아무도 그들이 행하는 것이 진정한 의미에서의 자연과학이 아니라는 점을 인식하지 못한다. 왜냐하면 그들이 말하고 행하는 모든 것이 일관성과 정합성의 기준에 일치하기는 하지만 그들이 행하는 것을 이해하는 데 필요한 콘텍스트들이 상실되고, 아마 돌이킬 수 없을 정도로 사라졌기 때문이다.

이런 문화에서 사람들은 "중성자", "질량", "비중", "원자량" 등의 표현들을 체계적이고 종종 상호 연관된 방식으로 사용할 것이다. 이 방식들은 자연과학적 지식이 대부분 상실되기 이전 시대에 그런 표현이 사용되던 방식들과 어느 정도 유할 것이다. 그렇지만 이 표현들의 사용이 전제로 한 많은 믿음들은 이미 상실되어 버렸고, 우리에게 매우 놀랍게 보이는 그 사용에 있어서도 자의성과 선택의 요소가 있는 것처럼 보인다. 더 이상의 논증이 주어질 수 없는 대립적 경쟁적 전제조건들이 얼마나 많다고 여겨지겠는가, 주관주의적 과학이론이 나타나게 되고, 이것은 자신들이 과학이라고 간주하는 것 속에 구현된 진리개념은 주관주의와 양립할 수 없다고 주장하는 사람들에 의해 비판받을 것이다. (MacIntyre, 1984, 이진우 역, pp. 17-18)

MacIntyre는 그의 주된 관심사인 도덕 철학을 전개하는데 있어, 우리가 살고 있는 세계에서의 도덕성의 언어가 위의 사고에서의 자연과학의 언어가 처한 것과 같은 심각한 무질서에 처해 있다고 말한다. 즉 우리가 가지고 있는 것은 단지 어떤 개념적 체계의 파편들, 즉 이것들에게 의미를 부여할 수 있는 맥락이 결여된 조각들이라 하는 것이다. 이와 같이 자연과학의 문제든 도덕의 문제든 우리에게 조각으로 주어진 언어들에 있어서 결여된 바로 그 ‘맥락’을 MacIntyre는 ‘실천’(practice)이라 말한다. 이러한 ‘실천’(practice) 개념에 대해 MacIntyre는 다음과 같이 설명한다.

내가 말하고자 하는 “실천”은, 특정한 활동 형식에 적합하고 또 부분적으로는 이 활동형식을 통해 정의된 탁월성의 기준을 성취하고자 하는 시도의 과정에서 이 활동형식에 내재하고 있는 선들이 이 활동을 통해 - 탁월성을 성취할 수 있는 인간의 힘과, 관련된 목표와 선들에 관한 인간의 표상들이 체계적으로 확장되는 결과를 가져오는 방식으로 - 실현되는, 사회적으로 정당화된 협동적 인간 활동의 모든 정합적, 복합적 형식을 뜻한다. (MacIntyre, 1984, 이진우 역, p. 277-278)

이와 같은 MacIntyre의 ‘실천’(practice) 개념은 기존 연구들에서 ‘실천’, ‘사회적 실천’, ‘사회적 관행’, ‘사회적 실제’ 등 여러 용어로 번역이 되어왔다. 본 연구에서는 이러한 번역들 가운데 홍은숙(2007)이 제안한 ‘실천전통’이라는 용어를 사용하고자 한다. 그 이유는, MacIntyre가 사용한 ‘a practice’라는 단어의 원어적 의미를 반영하면서도, 이것이 개인적인 행위만의 의미를 가지거나 혹은 이론과 대비되는 실체라는 의미만을 나타낼 오해를 피하기 위해서이다. 또한 ‘실천전통’이라는 용어의 전통이라는 단어를 통해 MacIntyre가 의도하고 있는 사회적이면서도 역사적인 전통의 의미를 담을 수도 있다 (홍은숙, 2007, p. 118).

이러한 실천전통의 논의들은 기존의 지식 전달의 교육을 비판하고, 이를 극복하기 위한 방안으로서 학생들이 배우게 되는 명제적 지식들의 배후에 있는 맥락을 가르침으로써 가시적이고 부분적인 인지적 성취물 대신 그것의 배경이 되는 역동적이면서도 전체적인 통합적 활동에 초점을 맞추는 것을 제안하고 있다. 우리가 학생들에게 어떤 활동의 명제적 지식이나, 정서, 기술 등 여러 것들을 가르치지만, 그것이 나온 맥락과 관련 짓지 않으면 의미도 없고 연결도 되지 않는 손상된 껍데기만을 가르치게 되는 것이고, 바로 여기서 그러한 명제들을 이해하고 연결 짓게 하는 맥락을 제공해주는 것이 실천전통이라는 것이다. 따라서 실천전통 개념은 고유한 가치와 탁월성의 기준, 규범, 덕, 지식과 기술, 정서, 역사 등을 가지고 발달해온 모종의 사회적이며 역사적인 인간 활동을 가리킨다 (홍은숙, 2007).

한편, 본 연구의 목적은 이와 같은 실천전통의 개념을 바탕으로 물리학의 실천전통이 어떤 것인지를 규정하고자 함이 아니다. 본 연구에서는 물리학의 본질을 가르치는 것이 무엇인지를 탐색하고자 하는 것이며, 이에 실천전통의 논의가 어떠한 인간 활동의 본질적인 특징을 파악하는데 유용한 개념들을 제공해주기 때문에, 이와 같은 개념들로부터 물리학의 본질을 가르치는 것의 의미를 파악하고자 하는 것이다.

실천전통 논의에서는 그 활동의 본질적인 성격을 규정하는 중요한 핵심적인 특징으로서 '내적 가치'를 말한다. 실천전통의 내적 가치는 그 활동 안에 붙박여 있어 그 활동에 참여함으로써만 얻을 수 있는 가치, 즉 그 활동이 본질적으로 추구하고 달성하기 원하는 가치 혹은 목적이라 할 수 있다. 만약 물리학의 실천전통을 고려한다면, 물리학의 내적 가치는 물리학이 추구하고 성취하고자 하는 본질적인 가치 혹은 목표를 의미할 것이다. 따라서 본 연구자가 지향하고 있는 물리학의 본질을 추구하는 것과 관련하여 볼 때, 물리학의 본질을 추구한다는 것 혹은 물리학의 본질적 가치를 추구한다는 것은 물리학

이라는 활동의 내적 가치를 추구하는 것과 같다고 볼 수 있다. 그러므로 학생들에게 가르쳐야 할 물리학의 본질이 무엇이라 할 수 있는지 파악하기 위해 물리학의 내적 가치, 즉 물리학이 본질적으로 추구하는 것이 무엇이며 그 본래적 목표가 무엇인지에 대해 고찰해야 할 필요가 있다. 이에 본 연구는 연구자가 지향하고 있는 물리학의 본질을 추구하는 것이 무엇인지 논의하는데 있어서 물리학의 본질적인 내적 가치에 대한 탐구를 우선적으로 수행하였다.

1.2. 과학의 관심 개념과 우주론적 관심

1) 과학의 관심 (interest of science)

이에 Martin Eger(1989)가 제안한 '과학의 관심'(interest of science) 개념은 물리학이 추구하는 가치 혹은 물리학을 통해 달성하고자 하는 목적과 관련되어 본 연구자에게 좋은 통찰을 주었다. 특히 Eger의 '과학의 관심' 개념은 물리학을 포함한 과학이 추구하는 가치와 관련된 개념으로 그것은 단순히 관심에서 그치지 않고 특정한 인식과 방법론을 유도하고, 결국엔 구체적인 행위의 양상까지 이끌어낸다는 개념이다. 이런 점에서 '과학의 관심' 개념은 물리학의 본질을 파악하고 이해하는데 있어서 좋은 시작점이 될 수 있다고 보았다. Eger(1989)는 과학적 지식이 점점 전문화 되어가고 복잡해지면서 비전문가들은 그저 표면적으로 따를 수밖에 없게 됨을 지적하였다. 이런 가운데 그는 또한 과학에 대한 흥미가 점점 감소하고 있고 이것이 점점 대중들(청소년 및 성인들)에게서 과학 관련 전공 지원률이나 과학적 소양들이 점점 떨어지는 현상으로 나타남에 대한 우려를 표하고 있다. 그러나 동시에 그는, 사람들이 학교에서 배우는 과학에는 만족해하지는 않으면서도 유행하는 과학도서-Eger에 의하면 '제 3의 장르'라고 불리우는-를 통해 과학에 대해 흥미를 키워가는 모순에 주목하고 있다. 그가 이야기한 당시의 이러한 '세 번째 장르'에 속한 책들은 예를 들어 Eigen and

Winker의 Laws of the Game (1981), Steven Rose의 The Conscious Brain (1976), 그리고 Hofstadters의 Godel, Escher, Bach (1979) 등이다. (물론 그 이후로부터 이러한 장르는 계속 흥행하면서 많은 유명한 책들이 유명한 저자들에 의해 출간되어 왔다. 예를 들어 Haking, Feynman, Gould, 그리고 Dawkins 등) 이러한 장르의 목적은 단순히 사람들에게 흥미로운 방식으로 과학적 지식을 전달하는 것이 아니다. 오히려 상당히 넓은 분야에 걸쳐 당대의 진보 혹은 발전에 대한 심도 있는 의미들의 정수를 독자들에게 전하려는 것이다. 이러한 제 3의 장르에 관하여 Eger는 다음과 같이 이야기하였다.

They are, in short, philosophically oriented: While staying for the most part within the cognitive domain of science, while teaching various aspects of science while insisting on the value of science itself, they nevertheless deliberately direct the import of their message to classic humanistic interest. (Eger 1989, p.84)

이에 Eger는 다음과 같은 2가지의 질문을 던진다. 하나는 "왜 뛰어난 과학자들이 그들의 시간과 에너지를 투자하여 그들의 분야가 아닌 다양한 분야의 사람들을 위한 저서들을 저술하는가?"이며, 또 다른 하나는 "널리 알려진 것처럼 자연 과학에 대한 대중의 흥미가 사라지고 있다고 보고되고 있음에도 불구하고 왜 대중들은 이와 같은 저서들에 열광적으로 반응하는가?"이다. Eger는 이러한 두 질문이 2가지의 '관심(interest)' 개념을 포함하고 있다고 생각하였다; 'interest in' 과 'interest of'. 먼저 'interest in' 개념은 어떤 주제에 대해 비전문가들이 가지게 되는 흥미 혹은 관심을 이야기한다. 반면에 'interest of'의 개념은 어떤 학문 영역의 구조, 성격, 역사 등을 통해 드러나는 그 학문의 목표나 지향 등과 관계가 있다.

Eger는 저명한 유럽의 대륙철학자인 Jürgen Habermas의 생각을 기반으로 위에서 지적한 현상들이 바로 '과학의 관심(interest of science)'과 관련된 문제라 지적하였다. Eger의 아이디어의 기반이 된 Habermas(1971)의 이론에서는 모든 과학이 가치중립적이라는 기존의 생각에 반하여 과학에는 내재적인 "지식의 지향성"이 존재한다고 주장한다. 좀 더 구체적으로 살펴보자면, Habermas는 그의 주된 철학 작업의 목적인 인식 비판의 문제 있어서 자연과학을 비롯한 모든 형태의 과학(wissenschaft)적 인식⁴⁾에는 그와 같은 인식을 만들어내는 유사초월적(pseudo-transzendental) 조건이 있으며, 이러한 조건은 경험적이며 역사적인 인식 및 행위 주체로서 인간이 필연적으로 소유하는 삶에 대한 관심(Interesse)에서 나오는 것이라 하였다(서도식, 2006). 다시 말해, 모든 인식은 그 인식의 주체가 지니는 삶의 관심으로부터 나온다는 것이다. Habermas는 이러한 인식 작용이 주체의 실천 행위와 밀접한 연관을 갖고 이루어진다고 본다. 이를 연결하여 생각하면, 실천은 인식과 밀접한 관련이 있으며 그러한 인식은 인식 주체의 관심으로부터 유도되는 것이다.

이때 Habermas는 3가지 중심적인 관심을 정의한다: a) 기술적 관심(technical interest; 자연을 통제할 수 있는 지식 생성), b) 실천적 관심(practical interest; 소통과 사회 질서 정립을 위한 기호 및 언어의 생성), c) 해방적 관심(emancipatory interest; 합리적 행동과 자주성 향상을 위한 반성적이고 내재적인 관심). 이러한 3가지 관심은 3가지 종류의 과학이 생기게 만든다. 이러한 3가지 종류의 학문은 3가지 종류의 이성에 기반 하여 나뉘진 특정한 방법을 포함한다. 여기서 3가지 이성은 각각 도구적(instrumental), 소통적(communicative), 그리고 비판적(critical)

4) 여기서 Habermas가 이야기하는 과학(wissenschaft)은 우리가 흔히 생각하는 자연과학만을 의미하는 것이 아닌, 앎을 추구하는 활동 즉 전체적인 학문 활동을 의미한다.

이성을 이야기하며, 이와 같은 방법들은 경험적 분석(empirical analysis), 역사적-해석학적 방법(historical-hermeneutic), 그리고 비판적(critical) 방법을 이야기한다. 언급된 바와 같이 그는 이러한 종류의 이성이 인간에게 어떤 특정한 행동을 야기한다고 생각하였다. 자연 과학은 '기술적으로 이용할 수 있는 지식'으로 이끄는 학문적 방법에 기인하는 도구적 이성으로 가득 차 있다. 반면에 사회 과학은(역사, 사회학, 인류학 등) 의사소통(communication)의 행위로 이끌어진다. 그런데 Habermas의 주장에서는 자연과학은 오로지 기술적인 관심에서 유도된 도구적인 이성을 기반으로 하는 경험적-분석적 방법의 학문이라고 한다. 그는 상호 소통을 통한 자기이해 혹은 지식의 의미 등에 대한 반성 등은 철학(philosophy)에서만 가능한 것이며 과학 자체에서는 불가능하다고 생각하였다.

이와 같은 Habermas의 관심 개념과 관련하여, Eger는 Habermas가 주장한 인식을 유도하는 관심이라는 그 개념 자체에는 동의하고 이를 받아들인 것으로 보인다. 그러나 반면에 그는 자연과학이 오로지 기술적 관심에 의해서만 유도되는 경험적-분석적 방법의 학문 활동일 뿐이라는 Habermas의 의견에는 완전히 동의하지는 않는다. 그는 자연과학의 관심과 관련하여 다음과 같은 질문을 던진다.

At first sight, this neat typology might appear incongruous. After all, from Galileo to Newton to Einstein there surely was more to it than a technological interest. What about the long effort, lasting over millennia, to put together a credible, coherent picture of the world we inhabit, the cosmos, and our place in it? (Eger, 1989, p.86)

Eger의 질문과 같이 Galileo 부터 Einstein, 그리고 최근의 물리학의

성과들까지 살펴볼 때, 자연과학은 오로지 자연을 통제하고 이용하고자 하는 기술적 관심에서만 유도된 학문이라 볼 수 있을까? 그렇지 않은 것이다. Habermas 본인 역시 과거의 과학에는 자연과 인간의 관계 속에서 상호적인 그리고 스스로의 이해를 추구하는 것이 있었음을 인정하였다. 그러나 과학에서의 그러한 관심은 이제는 불분명한(apocryphal) 것이 되었다고 주장하였다.

Thus, although the sciences share the concept of theory with the major tradition of philosophy, they destroy its classical claim. They borrow two elements from the philosophical heritage: the methodological meaning of the theoretical attitude and the basic ontological assumption of a structure of the world independent of the knower. On the other hand, however, they have abandoned the connection of theoria and kosmos, of mimesis and bios theoretikos that was assumed from Plato through Husserl. What was once supposed to comprise the practical efficacy of theory has now fallen prey to methodological prohibitions. The conception of theory as a process of cultivation of the person has become apocryphal. Today it appears to us that the mimetic conformity of the soul to the proportions of the universe, which seemed accessible to contemplation, had only taken theoretical knowledge into the service of the internalization of norms and thus estranged it from its legitimate task. (Habermas, 1971, p.304)

Habermas는 자연과학이 오로지 기술적 관심으로부터만 유도된 도구적 이성이 강조된 학문영역이라 생각했지만, Eger는 그렇게 생각하지 않았다. 그는 Habermas의 관심 개념을 기반으로 하여 자연과학의 관심들을 구별하여 생각했던 Mary Hesse (1980)의 아이디어를 참조하고 그것을 확장시켜

2가지 근본적인 '과학의 관심(interest of science)' 개념을 제안하였다: 기술적 관심(technical interest)과 우주론적 관심(cosmological interest). 기술적 관심(technical interest)은 자연의 과정에 대한 통제를 추구한다. 이러한 과학의 기술적 관심은 과학을 이념을 넘어 가치중립적인 것으로 여기며 오로지 '사실'들을 규명하는 것에 초점을 맞춘다. 또한 기술적 관심의 목표는 더 많은 지식, 새로운 지식, 그리고 문제 풀이이다. 이것은 각각 나뉘진 과학이 탐구하는 분절되고 독립적인 지식 영역들의 확장에 초점을 맞춘다. 반면에, 우주론적 관심(cosmological interest)은 우주를 전체로서 이해하는 것을 추구한다. 이때의 우주론적(cosmological)이라는 말은 매우 넓은 의미로 이해될 수 있다. 이것은 근본적이고 철학적인 문제들, 예를 들어 궁극적 기원, 종교, 의식, 개성, 자유 의지 및 결정론 같은 것들과 연관된다. 이러한 우주론적 관심은 과학 지식을 학제간적이고 사회 인지적인 맥락 속에서 총체적 관심(holistic interest)으로 바라본다. Hesse의 의견을 따르면서 Eger는 다음과 같이 이야기한다.

... interest, in other words, is a link between a form of inquiry and a form of action (Eger 1989, p.85)

따라서 이러한 관심들은 특정한 방법론들을 통해 특정한 행위를 야기하게 된다. 기술적 관심(technical interest)은 도구적 방법론(instrumental methodology)을 통하여 목적 지향적이면서 합리적인(purposive-rational) 행동을 야기한다. 이러한 도구적 방법론 아래에서, 과학은 대중적이고 실용적인(popular-pragmatic) 것이며 또한 우리에게 금전적인 가치를 제공해주는 것처럼(cash-valued) 여겨진다. 이때 교육적 상황에서 교사는 이미 짜여져 있는 교육과정 상의 내용지식을 학생들에게 그저 전달할 뿐이며 또한

문제풀이 과제를 주로 전달한다. 반면에, 우주론적 관심(cosmological interest)은 반성적인 방법론(reflective methodology)을 통하여 해석학적이고 소통적인(hermeneutic-communicative) 행위를 야기한다. 이러한 반성적 방법론에서는, 과학이 상호 이해 및 자기 이해를 위한 것이며 사회 환경 및 자연 환경을 지향하는 것으로 여겨진다. 이때의 교육적 상황에서는 과학에 대한 학생들의 이해의 지평을 확장시키는 것이 중요하며, 과학적 지식 결과의 타당성, 중요성, 또는 그 의미를 확인하는 것 역시 중요해진다. 따라서 이때의 교사는 과학의 비유나 의미들을 학생들에게 해석해주고 전달해주는 행위를 하게 될 것이다.

비록 과학의 한 측면이 예측과 실증적 검증, 그리고 통제 등에 관심이 있는 것임에도, Eger는 기술적 관심(technical interest)을 바탕으로 하고 있는 하나의 과학에 대한 관점을 비판하고 있다. 왜냐하면 그것은 자연의 복잡성을 이해할 수 있게 하는 비유들로 이루어지는 높은 수준의 이론들을 설명하는 데 실패했기 때문이다. 이러함은 결국 과학이 내재적으로 해석학적-해석적인(hermeneutic-interpretive) 요소를 가지고 있음을 보여준다. 많은 '제 3의 장르'의 저자들이 활용하고 대중들에게 보여주는 것이 바로 이러한 과학의 해석적인 요소이며, Eger에 의하면 이것이 바로 교사들이 교육현장에서 활용했어야 하는 것이다. Eger는 과학교사들이 전문성 향상을 위해 과학사 및 과학철학에 대한 학습을 통해 이러한 과학의 해석적 요소를 받아들여야 한다고 주장한다. 그리고 이를 통해 과학교육이 더 생기를 띄게 될 수 있을 것이라 이야기한다.

그러나 Eger는 기존의 과학교육에서는 하나의 과학의 관심만이 중요하게 강조되어왔고 또 다른 과학의 관심은 억압되어왔다고 말한다. 구체적으로 그는 일반적으로 정규 과학 교육에서는 목적 지향적이며 합리적 행위를 지향하는 문제 풀이의 관심만을 추구하고 있으며, 반면에 해석학적이고

소통적 행위를 지향하는 우주론적이며 철학적 관심을 억압하고 있다고 지적한다. 다시 말해, 표준화된 교과서 중심의 교육으로 이뤄지는 정상 과학(normal science)의 퍼즐 풀이(puzzle-solving)적인 측면 (Kuhn, 1962)이 해석학적이며 소통적인 유형의 행위들을 억누르고 있는 것이다. 따라서 수업 혹은 교재에서 과학적 지식이 단지 앞선 장에서 비판적으로 논의했던 ‘수사학적 결론(rhetorics of conclusion)’의 방식으로 다루어지는 것이 아니라 학생들이 학습 중에 스스로 해석학적 과정들을 거칠 수 있도록 잘 구성되어 있다면, 학생들의 과학에 대한 이해는 더욱 깊어질 수 있다.

2) 물리학의 본질로서 우주론적 관심

이제 위의 과학의 관심 개념을 물리학의 본질과 관련지어 생각해보고자 한다. 즉, 물리학의 본질을 탐구하며, 물리학의 내적 가치로서 어떤 과학의 관심이 더욱 물리학의 내적 가치와 가깝다고 할 수 있는 것인지, 그리고 물리학은 본질적으로 어떤 관심에서 시작되어 어떤 모습을 가지고 있는지 생각해보는 것이다.

우선 과학의 기술적 관심(technical interest)의 경우 그것은 과학의 도구적인 측면, 그리고 그것이 주는 유용성이나 경제성 등에 관심을 갖는다. 그렇기에 그것은 자연을 완벽하게 밝혀내고 그것들을 통제하고 활용할 수 있게 되는 것을 추구한다. 이러한 과학의 혹은 물리학의 기술적 관심이 물리학의 내적 가치로서 이해될 수 있을까? 그렇지 않을 것이다. 우리에게 부와 풍요를 가져다주기 위한 도구적이면서도 유용한 가치의 측면은 과학이라는, 혹은 물리학이라는 활동의 본질적 가치라고 보기는 어렵다. 이것들은 오히려 부차적인 것이며, 과학의 외재적인 가치로서 작용한다고 볼 수 있다. 게다가 자연을 완벽하게 밝혀내고 그것을 통제하며 활용한다는 것 역시 진실로 과학의 본래적인 목적이라고 볼 수 없을 것이다. 앞서 소개했던

실천전통의 개념에서 그 특징 중에는 역사성이라는 특징이 있다. 이러한 역사성에 대해 MacIntyre는 다음과 같이 설명하고 있다.

실천으로 들어선다는 것은 현재 실천하는 사람들뿐만 아니라 이 실천에 있어서 우리를 앞서간 사람들, 특히 그들의 업적이 실천의 범위를 현재의 수준까지 확장한 사람들과의 관계에 들어선다는 것을 의미한다. 그러므로 나는 전통의 업적에, 그리고 더욱 강력한 이유에서 전통의 권위에 직면하게 되고, 나는 이로부터 배워야만 한다. (MacIntyre, 1984, 이진우 역, pp.286-287)

이와 같은 MacIntyre의 설명에서는 우리가 어떤 실천(또는 활동)에 들어선다는 것, 혹은 그 실천을 배운다는 것은 현재 그 실천 안에 있는 사람뿐 아니라 과거의 실천가들과도 관계 맺는 것이라 이야기한다. 이런 점에서 볼 때 우리가 하나의 어떤 활동이 추구하는 내적 가치를 살펴볼 때 그것의 역사성을 고려하여 무엇이 진실로 본질적으로 추구하는 가치였는지를 따져보아야 한다고 생각된다. 따라서 물리학이 본질적으로 어떤 것을 추구하였는지를 살펴보기 위해서는, 어떠한 과학의 관심이 물리학의 본래적인 관심이었는가를 생각해보아야 한다. 그렇게 생각한다면, 기술적 관심은 물리학의 본질적이고 본래적인 관심이라고 말하기가 쉽지 않을 것이다. 과거 훌륭한 과학자들이 가졌던 관심이 단지 기술적 관심에 그치는지에 대해 의문을 던지고 있는 Eger의 질문을 다시 한 번 상기해보자.

After all, from Galileo to Newton to Einstein there surely was more to it than a technological interest. What about the long effort, lasting over millennia, to put together a credible, coherent picture of the world we inhabit, the cosmos, and our place in it? (Eger, 1989, p.86)

Eger의 생각에 따르면, 비록 Habermas의 주장처럼 기술적 관심이 현대의 물리학을 포함한 과학의 주된 관심처럼 보일지라도, 그것만으로는 과학의 또는 물리학의 본질적인 관심을 잘 설명해주지 못하는 것으로 보인다. 반면에, 우주론적 관심(cosmological interest)은 어떠한가? 우주론적 관심은 자연현상 그 자체에 대한 이해와 설명에 관심을 두며, 우리와 우주의 기원, 자연과 인간의 본질 등 철학적이고 본질적인 질문에 대한 답을 추구한다. 자연에 대한 그 이해와 설명, 또는 우주와 우리의 기원에 대한 본질적인 질문은 그 자체가 과학 본연의 질문이고 그 질문에 대한 답을 찾아가는 인간 활동 자체를 우리가 과학이라 부르고 있다. 즉, 이와 같은 질문들은 과학(물리학)의 본래적이면서도 본질적인 질문이자 과학의 궁극적 목적을 나타낸다고 볼 수 있는 것이다. 따라서, 본 연구자는 이와 같은 과학의 관심 개념에 비추어 볼 때, 물리학의 본질을 가르친다는 것은 과학의 우주론적 관심을 바탕으로 하여 학생들에게 물리학을 가르친다는 것을 의미한다고 본다. 다시 말해, 자연과 인간의 본질, 그 기원, 의미 등에 대한 질문들을 다루고 그 답을 추구해나가는 활동으로서의 물리학(과학)을 가르치는 것이 바로 학생들에게 물리학의 본질을 가르치는 것이라 본다.

본 연구에서는, 이처럼 우주론적 관심을 기반으로 하는, 물리학의 본질을 학생들에게 가르치자는 관점을 바탕으로 이와 같이 물리학의 본질을 가르치는 물리학 교재는 구체적으로 어떠한가 하는지에 대해 실제 교재의 사례를 탐구하여 찾아보고자 한다.

2. 물리학 교재(교과서) 분석 연구

교재(혹은 교과서)는 항상 학생, 교사, 교육과정 등과 함께 교육에 있어 매우 중요한 요소로 여겨져 왔으며, 그만큼 교육 연구에서도 교재에 대한 연구들이 많이 이루어져왔다. 특히 기존의 교재를 분석하고 이해하는 연구는

이를 통해 현행 교재들의 문제와 한계를 진단하고 교육적으로 더 나은 교재를 제안하기 위한 목적으로 수행되고 있다. 그러기에 많은 연구자들이 다양한 관점에서 다양한 교재(교과서) 분석과 평가의 기준들을 제안하고 있다. 이와 같이 다양한 교재 분석 및 평가 기준들이 제안되고 있는 상황에서, 이순옥(2006)은 이러한 기존의 연구들이 제안하였던 교과서 분석의 기준 및 방법들을 조사하고 정리하였다. 이 연구에서는 대표적으로 8가지 교과서 분석 방법을 소개하고 있는데 구체적으로 Romey(1988), Klopfer(1971), 한국교육개발원(1981), 한종하(1981), Gall(1985), 강대구(1991), 이병욱(1999), 정교화 이론(2003)이 소개되고 있다. 각각의 교과서 연구 방법들을 정리하자면, 먼저 Romey(1968)의 분석 방법은 교과서를 정량적으로 분석하는 방법으로서, 내용의 범주나 활동, 그림, 표, 문제 등의 내용을 정량적으로 분석하고 그것을 지수로 표시함으로써 교과서를 탐구적 교과서와 비탐구적 교과서로 구분하는 분석 방법이다. Klopfer(1971)의 방법은 교과서에서 요구하는 교육목표를 과학교육 목표 분류방법에 의해 구분하는 방법이다. Klopfer는 교과서를 분석하는 준거로서 본인이 개발한 과학교육목표 분류체계를 제안하였는데, 그 내용은 9가지의 큰 항목과 각 항목에 대한 하위 항목들로 구성되어 매우 상세하다는 특징을 가지고 있다. Klopfer의 교과서 분석은 이와 같은 과학교육목표 분류체계의 상세한 항목을 따라서 매우 상세한 수준으로 그 내용들을 분석할 수 있는 방법이라는 장점이 있다. 그러나 Klopfer의 교과서 분석의 준거가 되는 과학교육목표 분류체계는 각 목표 간의 구분이 명료하지 않을 뿐더러 교과 내용의 세부 항목 분류 기준도 애매하다는 단점을 가지고 있다는 지적이 있다 (권재술, 1984). 한국교육개발원(1981)에서 개발된 교과서 분석틀은 교과서 검정 기준을 바탕으로 개발이 되었다. 이 분석틀은 교육목표, 교육내용, 수업전략, 평가, 체제 등의 차원에서 교과서를 분석하는

기준틀이다. 한종하(1981)의 교과서 분석틀은 학생과 교사, 전문가 수준에서 교과서의 적절성, 타당성, 효용성을 조사하고 이에 따라 교과서를 평가하는 분석틀이다. 이 분석틀은 출판비용, 물리적인 속성, 내용, 수업 속성 등의 차원에서 교과서를 분석한다. Gall(1985)의 교과서 분석틀은 그가 개발한 교육과정 자료 평가를 준거로 교과서를 분석한다. 강대구(1991)의 분석틀은 교과서 평가의 유형을 교과서 분석의 준거로 삼았는데, 그 항목으로 내용의 구성, 내용의 타당성, 내용의 신뢰성 및 계열성, 내용 수준, 학습 편의, 학습 지도, 학습 과제 등의 차원들을 제시하고 이를 중심으로 교과서를 분석하였다. 이병욱(1999)의 분석틀은 교육과정 평가의 틀을 교과서 분석의 준거로 삼아 내용선정, 내용 구성 및 조직, 예시자료, 교육학습의 용이성, 교수학습 접근의 합리성, 평가의 타당성, 편집체제 등의 항목으로 교과서를 분석하였다. 마지막으로 정교화이론(2003)은 교과서 구성에 있어서 위계성, 비유 등의 세세한 기준을 근거로 한다.

이처럼 기존의 교과서 연구들로부터 여러 교과서 분석 기준들이 제안되었지만, 과학교육 혹은 물리교육에서는 앞서 소개된 분석 기준 중 Romey(1988)와 Klopfer(1971)의 교과서 분석 기준을 사용하여 교과서를 분석한 연구들을 많이 찾아볼 수 있다. 앞서 간단히 소개한 바 있지만, Romey 및 Klopfer의 교과서 분석 기준 및 분석법을 요약하여 설명하면 다음과 같다.

Romey(1988)의 교과서 분석 기준은 교과서의 문장 수를 대상으로 정량적인 평가를 하는 데에 목적이 있다. 특히 교과서의 탐구 활동의 측면에 초점을 맞춘 이 분석 기준은 교과서 본문 내용, 그림 및 도표, 교과서 장의 끝부분, 장의 종합부분 등의 항목에서 교과서를 평가한다. 예를 들어 교과서 본문 내용의 항목에서는 본문의 문장들에 10가지 종류의 성격 중 하나를 부여한다: a) 사실 진술, b) 결론 혹은 일반화, c) 정의, d) 질문과 답, e)

자료 분석 요구, f) 학생에게 나름의 결론 짓게 하기, g) 활동 및 분석 지시, h) 직접적 답을 주지 않는 질문, i) 관찰 지시, j) 수사적 질문. 이와 같이 문장들의 성격을 부여하고 분류한 후 마지막 두 성격인 관찰 지시 및 수사적 질문을 제외한 8가지 성격들의 문장 수를 대상으로 다음과 같은 공식을 통해 교과서 평가지수를 산출해낸다.

$$Rm = \frac{e + f + g + h}{a + b + c + d}$$

이와 같이 산출된 평가지수를 판단하여 평가지수가 0.5 이하인 경우 권위주의적인 교과서로, 0.5 이상인 경우 탐구주의적인 교과서로 판단하게 된다. 이러한 방식으로 다른 항목들도 유사하게 평가지수를 산출하여 교과서를 파악하는 것이 Romey의 교과서 분석 기준이다. 이와 같은 Romey의 교과서 분석 기준을 활용하여 김현정(2002)은 7차 교육과정에 따른 중학교 1, 2학년 과학 교과서의 탐구적 성향을 분석하여 대부분 교과서가 탐구형 교과서임을 보였으며, 김하연(2007)은 7차 교육과정에서의 고등학교 생물I 교과서들이 탐구를 강조하는 교육과정의 성격을 잘 반영하고 있음을 보였고, 홍성준(2008)은 7차 교육과정의 물리II 교과서를 9종을 분석하여 대부분의 교과서들이 학생들의 직접적 참여를 이끌어 내지만 일부 교과서들은 설명위주의 교과서들이 있었다는 연구 결과를 보였다.

한편, Klopfer(1971)의 교과서 분석 기준은 그가 제안한 과학교육목표의 분류를 따라 과학 교과서에서 명시하고 있는 교육목표 진술을 분석하는 것이다. 다시 말해, 과학 교과서에 명시되어 있는 교육목표 진술이 Klopfer의 과학교육목표 분류 체계의 어떤 항목에 해당하는지를 검토한 후 그 결과의 분포로 교과서의 특징을 파악하는 것이다. 앞서 간략히 소개한 것처럼, Klopfer의 과학교육목표 분류는 9가지의 큰 항목으로 이루어져 있다: A) 지식과 이해, B) 과학적 탐구 과정 I - 관찰 및 측정, C) 과학적 탐구 과정 II - 문제 발견과 해결 방안 모색, D) 과학적 탐구과정 III - 자료의 해석과

일반화, E) 과학적 탐구 과정 IV - 이론적 모델의 설정, 검증 및 수정, F) 과학 지식과 방법의 적용, G) 조작적 기능, H) 태도와 흥미, I) 지향. 이와 같은 9개의 큰 항목 아래에는 상세한 하위 항목들이 있으며, 실제 교과서의 분석에서는 과학 교과서에 진술된 교육목표 내용을 이와 같은 Klopfer의 분류체계 항목으로 평가하고 그 분포를 살펴보게 된다. 이러한 Klopfer의 교과서 분석 기준을 사용한 연구로서, 노연정(2007)은 6차 및 7차 교육과정에서의 중학교 2, 3학년 과학교과서의 화학 단원의 동일한 내용을 비교 분석하여 두 교육과정에서의 교과서 모두가 지식과 이해 및 과학적 탐구과정을 교육목표로 하는 비율이 많으며, 교육과정의 차이가 크게 드러나지 않고 대동소이(大同小異)하다는 연구의 결과를 보였다. 안형심(2008)은 7차 교육과정에서의 10학년 과학교과서의 지구과학 분야를 비교분석 하였으며, 교과서들의 지구과학 내용이 대체적으로 지식과 이해 범주의 교육목표를 상당히 강조하고 있음을 보였다.

한편, 그 외에 최근의 물리학 교재 분석 연구들에서는 앞서 소개했던 개발된 분석 기준을 사용하기 보다는 각각의 연구의 특성에 맞추어 교재들의 특징 혹은 양상들을 분석하고 비교하는 연구들을 수행해오고 있다.

김윤희, 문성배 (2000)는 공통과학 교과서의 탐구 활동 내용을 분석하는 분석틀을 개발하였다. 이와 같이 교과서 내 탐구 활동을 탐구하기 위해 연구자들은 탐구 활동을 탐구 내용, 탐구 과정 및 탐구 상황의 3가지 차원으로 나눠 생각하였으며, 각 차원과 관련하여 Klopfer(1971)의 탐구 과정 요소와 NAEP(National Assessment of Educational Progress)를 참조하여 새롭게 개발이 되었다. Jo, Song, & Suh (2010)는 과학교과서에서 사용되고 있는 예시 유형들을 분석하기 위한 분석틀을 개발하였다. 이 연구에서 개발된 분석틀은 예시의 논리적 배치, 예시의 상황, 예시의 제시 형태, 예시의 외적인 표상, 예시의 안내-발견 수준 등의 범주로

교과서에 수록된 예시들을 분석한다. 또한 박세기(2011)는 과학 교과서에 사용된 과학사 자료를 체계적이고 효과적으로 분석할 수 있는 분석틀을 개발하였다. 이 연구에서 개발된 분석틀은 크게 수업맥락, 역할, 제시유형이라는 3가지 차원에서 과학사 자료를 분석한다. 세부적으로, 수업맥락에서는 흥미, 사회-문화적 접근, 인식론적 접근, 개념적 접근의 하위 항목이 있으며, 역할에는 기본적, 보충적, 탐구적의 하위 항목이 있고, 제시 유형에서는 에피소드/일화, 발견/고안, 선형적 발전, 역사적 실험의 하위 항목이 있다.

이처럼 과학 교과서를 중심으로 한 분석 연구들에서 제안한 분석틀들은 교과서의 특정한 주제나 혹은 특정한 자료들에 초점을 맞추어 분석틀을 개발하였다. 한편, 과학 교과서의 전반적인 특징을 파악하기 위한 분석틀을 제안한 연구가 최근 이루어진 바 있다. 박현주, 심재호, 손연아(2017)는 교육과정과 교과서 간의 일관성을 평가하기 위한 교과서 분석틀을 개발하였다. 이 연구에서는 크게 성격, 목표, 개념 및 내용, 탐구, 태도, STS(Science Technology Society: 과학-기술-사회), 교수-학습 지도, 평가를 범주로 삼아 교과서를 분석하였다.

이상에서 살펴본 기존의 교과서 분석틀들은 연구자들의 분석 대상에 대한 관심에 맞추어 이론적인 검토를 통해 상당히 상세하면서도 잘 조직되어 개발된 분석틀로 보인다. 그러나 이와 같이 과학 교과서 분석 연구에서 사용하거나 혹은 제안하는 교과서 분석 기준(분석틀)들은 대부분 교과서의 형식적 측면을 분석하거나, 일반적인 교수-학습 이론에 근거하여 교과서를 분석하는 기준들이 많음을 알 수 있다. 또한 기존의 교과서 분석 기준 및 방법들은 교과서가 보일 수 있는 특징들을 항목화 시키고 그것들을 수량화 하여 일종의 양적인 지표들을 통해 교과서를 파악하고 평가하는 것들이다. 그러나 이와 같은 방식으로는 양적인 지표들로는 나타낼 수 없는 교재들의

구체적인 질적 양상을 파악하기 어려운 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 교과서 혹은 교재에서 드러나는 질적인 특징들까지 파악하고 이해하고자 하는 본 연구의 취지에 적합한 새로운 교재 분석 방법을 고안하고, 이에 따라 일반물리학 교재를 분석하고자 하였다.

III. Cooper 일반물리학 교재 서술의 특징

본 장에서는 Cooper 일반물리학 교재의 특징을 파악하기 위한 첫 번째 단계로서, Cooper 일반물리학 교재의 '원자의 구조' 단원 본문 서술을 분석하였다. 본 연구에서는 본문 서술을 분석하는 데 있어 특정한 외부의 분석틀이나 기준을 사용하기보다는, 교재의 서술된 내용 그대로를 면밀히 살펴보고 그 자체에서 이해의 틀을 얻어내는 '근거 이론'(ground theory)의 연구 방법을 활용하였다. 이제 이와 같은 Cooper 일반물리학 교재의 '원자의 구조' 단원 본문 서술의 분석을 통해 드러나는 교재의 특징을 보이고자 한다.

1. 연구 방법

질적 연구 방법의 하나인 '근거 이론'(ground theory) 방법론은 1967년 Glaser와 Strauss에 의해 개발되고 발전된 방법론으로서, 그 목적이 존재하는 이론에 비추어 검증을 하는 것이 아니라, 경험적 자료로부터 연구 참여자들의 관점에 의해 형성된 생각, 행동 및 상호작용 등에 대한 이론을 도출하기 위해 고안된 질적 연구 방법이다. 근거 이론은 이론을 연역적으로 추론하기보다는 행위나 구성 양식에서 이론을 도출하는 귀납적인 방법을 사용하고, 관찰자에게는 대상의 세계가 무질서해보일지라도, 그것들은 질서 있게 행동하고 자신을 둘러싼 환경을 이해하고 있다라는 가정에 기초한다 (조영달, 2015). 본 연구에서는 이와 같은 근거 이론의 아이디어를 바탕으로 하여 기존의 이론이나 분석틀에 비추어 Cooper 일반물리학 교재 본문의 서술을 분석하고 검증하기보다는, Cooper 일반물리학 교재 본문 서술 그 자체에서 그 특징적인 요소들을 찾아내는 방식으로 연구를 수행하였다.

근거 이론은 흔히 자료의 수집 이후에 자료를 코딩하고 재구성하는 방식의

절차로 수행이 된다. 본 연구에서도 이와 같은 근거 이론의 절차를 참조하여 Cooper 일반물리학 교재의 본문 서술의 특징을 파악하고자 하였다. 본 연구에서 Cooper 일반물리학 교재의 '원자의 구조' 본문 서술을 분석한 절차는 다음과 같다.

1) 1차 코딩: 개방 코딩 (Open Coding)

개방 코딩은 분석의 첫 단계이며, 이때에는 자료를 분해하여 재조합하는 과정을 가진다. 이때 연구자는 정보를 구분하고 연구하는 현상에 대한 범주를 형성한다. 본 연구에서는 Cooper 일반물리학 교재의 '원자의 구조' 단원의 텍스트들을 문장단위로 분해하고, 각 문장의 형식, 의미, 내용 등을 고려하며 자유롭게 의미를 부여했다. 이와 같은 작업에서는 어떤 특정한 이론적 틀이 개입되기보다는 순수하게 문장에서 인식되는 대로 귀납의 원리가 지켜졌다. 이와 같이 문장별 분석이 완료된 후에 연구자는 의미가 부여된 문장들을 펼쳐놓고 그것들을 범주화 하였으며, 범주화 된 것들을 명명하는 방식으로 코딩을 실시하였다. 이와 같은 과정을 통해 명명된 범주들은 예를 들면, '물리학자의 직관', '의문 불러일으키기', '물리학을 그림에 비유' 등이 있으며 총 40개의 작은 범주들로 구성이 되었다.

2) 2차 코딩: 축 코딩 (Axial Coding)

개방 코딩 이후 이것을 새로운 방식으로 결합하는데, 이를 축 코딩이라고 한다. 여기서 연구자는 중심 현상을 확인하고, 인과 조건을 탐색하며, 전략을 구체화하고, 맥락과 중재 조건을 확인하며, 이 현상의 결과를 묘사한다. 이와 같은 축 코딩은 이론적 코딩이라 할 수 있는데, 이것은 범주들을 연결시켜서 현상에 대한 더 정확하고 완벽한 설명을 찾고자 하는 분석이라 할 수 있다. 본 연구에는 앞서 1차적으로 코딩된 범주들을 다시 재조합하여 상위 범

주들로 구성하였다.

일반적으로 근거 이론 연구 방법에서는 이와 같은 2차 코딩이 완료된 후, 연구자가 범주들을 구별화하고 상호 관련시켜 기술하면서 이야기를 구성하거나, 예측되는 관계를 진술하는 명제나 가설 등을 구체화하기도 한다 (Creswell, 2007). 본 연구에서는 이와 같이 Cooper 일반물리학 교재 본문 문장들을 해체하고 분석하여 재구성한 범주들을 통해 교재의 서술에서 어떤 특징이 드러나는지 파악하고 설명하고자 하였다.

또한 이와 같은 분석 과정에는 연구의 신뢰와 타당성을 위해 본 연구자 외에 물리교육 전문가 1인과 물리교육 박사과정 학생 1인이 함께 참여하여 분석 내용에 대한 지속적인 논의를 통해 결과를 도출하였다. 본 연구에서의 분석에 참여한 물리교육 전문가는 물리교육의 박사 학위 소지자이며 물리학 교재 개발의 경험이 있는 전문가이다. 또한 물리교육 박사과정 학생은 다년간 과학철학 및 교육철학적 관점을 바탕으로 하여 물리교육의 철학적 문제에 대한 연구를 수행해온 학생으로 물리교재를 비롯한 다양한 물리교육 관련 텍스트 분석의 경험이 있는 학생이다.

2. Cooper 일반물리학 교재의 서술에서 드러나는 특징

2.1. 물리학과 자연, 인간의 관계를 설명하다

물리학은 자연현상에 대해 탐구하고 이해하고자 하는 학문이다. 따라서 물리학을 공부하는 데 있어서 물리학과 자연과의 관계에 대한 주제는 핵심적으로 중요하게 다뤄야 할 주제임에 분명하다. 이와 같은 물리학과 자연과의 관계와 관련된 주제들은 과학철학의 분야에서 많이 논의되어 다양한 입장들이 주장되어 오고 있으며, 과학교육에서는 최근까지 수업이나 교재 및 교육과정

등에서 이러한 주제들을 다루어야 한다는 주장의 연구들이 지속적으로 이루어져온 바 있다.

그럼에도 불구하고, 그동안 일반적으로 물리학 교재들이 물리학 개념이나 이론 등에는 충실할지 몰라도, 이와 같은 물리학과 자연, 인간의 관계 속에서 물리학이란 무엇인지 학생들에게 설명하기를 기대하는 것은 쉽지 않았다. 그러나 Cooper 일반물리학 교재의 서술에서 이와 같은 관점에서의 물리학과 자연, 인간의 관계에 대한 내용이 본문 서술 가운데 드러내고 있음을 발견할 수 있었다.

1) 물리학은 그림을 그리는 것

물리학과 자연, 인간의 관계 속에서의 물리학의 본성에 대한 내용과 관련하여, Cooper 일반물리학 교재의 원자의 구조 단원에서 다음과 같은 내용을 살펴볼 수 있다.

What a difference 20 years had made! In 1890 the canvas of physics seemed sketched completely by the old masters. Every line of classical development seemed so successful that in their continued application to the various phenomena of nature it seemed only a matter of endurance and patience to put in the final touches of the brush. (Cooper, 1992, p.330)

위의 Cooper 일반물리학 교재의 서술을 살펴보면, 19세기 후반의 물리학은 고전 물리학의 그림이 거의 완벽하게 그려지고 마지막 붓질을 남겼다고 서술하면서 물리학을 그림으로 비유하며 설명하는 것을 볼 수 있다. 또한 이와 비슷하게 Cooper 일반물리학 교재는 물리학을 태피스트리(tapestry: 직조예술품)에 비유하면서 다음과 같이 서술하기도 한다.

In the tapestry that was classical physics, if one could have looked properly, one would have discerned those threads of a new color that did not fit the many themes and variations of the Newtonian woof and warp. But whether these alien threads would disappear, an error of the weavers hand, or whether they would continue and develop into new and rich themes of their own was something the spectator, or even the weaver, could not know too well at the time. (Cooper, 1992, p.302)

여기서도 마찬가지로 고전 물리학을 하나의 태피스트리에 비유하면서, 고전 물리학의 그림에서 벗어나 새로운 그림을 그릴지도 모르는 이상한 실들이라는 비유를 통해 현대 물리학의 시작을 암시하는 서술을 하고 있다.

이와 같은 서술들을 통해 볼 때, Cooper 일반물리학 교재는 물리학의 본성을 그림을 그리는 것과 같은 것으로 보고 있으며, 학생들에게도 그러한 관점을 전하고 있음을 알 수 있다.

이와 같이 교재의 본문에 표현된 물리학을 그림에 비유하는 것에 대해 교재의 저자 Cooper는 Niaz 등과의 인터뷰를 통해 다음과 같이 밝힌 바 있다.

I believe, in some ways, the scientist can be compared to the painter. The impressionists, for example, were accused of not being able to see things as they are. But, having imposed their way of viewing—their vision of the world—it has become a cliché now to see things as the impressionists did. Consider, for example, many magazine ads. (Niaz et al., 2010, p.48)

저자 Cooper에게 있어서 과학을 하는 것은 마치 화가가 그림을 그리는 것과 유사하며, 하나의 과학 이론은 마치 미술에서의 하나의 사조(思潮)와 같은

것이다. Cooper는 이와 같은 자신의 생각이 그의 물리학 교재에 담기길 원했던 것으로 보인다. 그래서 그의 일반물리학 교재의 서문에도 다음과 같이 서술하고 있다.

I have tried, in all, to present physics as one attempt made by human beings to organize their experience—different in technique, but not totally different in outlook from that of the painter, for example, whose canvas is often his organization of his experience of light and color. It seems to me that important physics, as important painting, imposes the vision of the scientist/artist on the raw data, in principle available to everyone. A generation or two later the world appears to us as that vision. (Cooper, 1992, p. xii)

일반물리학 교재의 서문에 서술된 위와 같은 내용을 살펴보면, Cooper는 교재를 통해 물리학이 인간의 경험을 조직하는 활동임을 학생들에게 보이고자 하였으며, 이러한 물리학의 활동이 화가의 활동과 크게 다르지 않다고 이야기한다. 여기서 주목할 점은 물리학자와 화가의 활동을 공통으로 묶는 것이 바로 '경험의 조직화'라는 것이다. 여기에서 교재의 저자 Cooper가 교재를 통해 학생들에게 보이기 원하는 물리학의 본성과 자연과의 관계가 구체적으로 어떤 것인지를 추론해볼 수 있다.

저자는 물리학자와 화가의 활동의 공통점이 바로 경험의 조직화를 이야기한다. 화가가 빛과 색에 대한 경험을 자신만의 관점을 통해 그림으로 나타내는 것처럼, 물리학자 또한 자연현상에 대한 경험을 자신만의 관점을 가지고 조직화하여 자연현상을 설명하는 물리학 개념 혹은 이론을 구성하는 것이다. 즉, 물리학 이론이라 하는 그림의 소재는 그저 추상화처럼 머릿속에 있는 어떤 심상이나 감정이 아니라 우리가 자연 세계로부터 경험하는 것이라 할 수 있

다. Cooper 일반물리학 교재의 본문을 살펴보면 저자가 이와 같이 자연 현상의 그림을 그리는 물리학의 모습을 바탕으로 하여 그 그림의 소재가 자연에 대한 우리의 경험임을 서술한 부분들을 찾을 수 있다. 다음은 그러한 서술의 한 예이다.

Such results, plus the obvious fact that electricity could be obtained from matter by rubbing, that charged particles, like cathode rays, were emitted from matter under the proper circumstances, led to a belief, almost universally accepted at the turn of the century, in the electrical constitution of matter. (Cooper, 1992, p. 314)

또한 앞선 화가 비유에서 저자는 화가가 자신만의 관점으로 경험을 조직하듯 물리학자 또한 자연에 대한 경험을 물리학자 자신의 관점을 바탕으로 조직한다고 설명하였다. 이에 물리학이 우리의 자연 현상에 대한 경험을 있는 그대로 (혹은 그 본질을 그대로) 묘사하는 것이 아니라 물리학자의 관점에 따라 그러한 자연 현상에 대한 경험을 조직화 또는 구성하는 것임을 보이고 있다. 대표적으로 교재의 원자의 구조 단원 본문에서는 물리학 이론이나 혹은 아이디어를 '구성하다(construct)'라는 표현이 자주 등장한다.

When one has successfully constructed a theory that encompasses so much of the world, it is hard to admit that it will have to be razed so that its foundations can be rebuilt completely. (Cooper, 1992, p.301)

It is perfectly feasible to construct a little charged solar system in which the electron revolves about the proton. ... For there is one flaw in our construction. (Cooper, 1992, p.323)

Was the situation clarified by Planck's hypothesis? With it, it was possible to construct a theoretical curve in agreement with observation. But an understanding of its underlying basis was elusive. (Cooper, 1992, p.328)

따라서 이와 같은 Cooper 일반물리학 교재의 서술들을 종합하여 살펴보면, 교재는 학생들에게 물리학이란 우리가 경험한 자연 현상들에 대해서 물리학자들의 관점을 바탕으로 구성한 지식이라 가르치고 있음을 알 수 있다.

2.2. 물리학 지식의 의미를 말하다

물리학이 자연현상에 대한 이해를 추구하며 발전해나가는 학문이라면, 물리학을 배운다는 것은 이미 정립되어 있는 물리학을 배움으로써 자연현상에 대한 이해에 다가간다는 것을 의미한다고 볼 수 있다. 그리고 일반적으로 물리학을 배운다고 했을 때, 일차적으로 물리학 개념과 이론 등의 물리학 내용 지식을 배우는 것이라고 여겨진다. 많은 경우, 물리학 교재는 학생들이 배워야 할 물리학 개념이나 이론 그 자체만을 서술함으로써 학생들이 그 개념을 익히고 그것을 활용할 수 있도록 하는 데 초점이 맞춰져 있다. 그러나 본 연구에서는 Cooper 일반물리학 교재의 본문 서술 가운데, 물리학 지식을 배운다는 것이 그러한 개념이나 이론 자체를 익히는 것을 넘어 무엇을 의미하는 것인가에 대해 보여주는 내용들을 발견할 수 있었다.

1) 물리학자들이 왜 그렇게 생각했는지까지 이야기하기

Cooper 일반물리학 교재는 물리학 교재로서 일차적으로는 학생들이 배워야 할 물리학 지식을 가르치는데 그 목적을 두고 있다. 그런데 이러한 물리학 지식을 가르칠 때 Cooper 일반물리학 교재는 단지 물리학 개념이나 이론들을

결론적으로 서술하지는 않는다. 다시 말해, Schwab(1962)이 이야기한 결론적 수사학(rhetoric of conclusion)의 방법으로 물리학 지식을 소개하지 않는 것이다. 오히려 Cooper 일반물리학 교재는 물리학 내용의 지식들을 소개하고 가르치는데 있어서 그 배경이나 맥락을 함께 학생들에게 가르치려는 모습을 보이고 있다. 예를 들면, 원자의 구조에 대한 내용과 관련하여, 왜 원자의 문제를 다루어야 했는가에 대해 Cooper 일반물리학 교재는 다음과 같이 이야기한다.

In general, the detailed properties of materials—their magnetic and optical properties; why some are conductors why others are not; what is the nature and internal constitution of matter —these questions never would be resolved within the domain of classical physics. These threads that were beginning to appear—the problems that troubled Maxwell, a paradox first observed by J. Willard Gibbs, radio activity, X rays, the discrete spectral lines—single threads at first, did not disappear. The future would be dominated by themes which, reading backward, one could see to begin with these lonely strands. But in the end it was on the trail of that old and elusive concept, the atom, that the world created by Newton and Descartes, the world of Democritus, Epicurus, Lucretius, and Gassendi came to the end of its usefulness. (Cooper, 1992, p.308)

위에 소개된 본문 내용에는, 19세기 중후반의 시기에 관찰된 자연현상들, 특히 방사능이나 X선, 그리고 원소들의 선 스펙트럼 등과 같은 현상들이 당시에 있던 물리학 이론들로는 설명이 되지 않았다는 점과, 당시 과학자들은 이러한 현상들이 물질의 본질과 관련이 있다고 여겼으며 그래서 결국 물리학의 관심이 물질의 본질 그리고 그 본질로서 '원자'에 초점을 맞추게 되었음을

이야기하고 있다.

이와 같이 물리학의 어떤 주제가 왜 중요하게 되었는지에 대한 배경이나 맥락 외에도 매우 세부적인 내용에서도 그 배경이나 맥락을 소개한 서술들을 많이 확인할 수 있다. 대표적으로 Rutherford의 α 입자 산란 실험과 관련한 맥락을 서술한 부분을 들 수 있다. Rutherford의 실험과 그의 원자 모형을 소개하는 부분에서, Cooper 일반물리학 교재는 당시의 물리학자들이 Thomson이 제안한 원자 모형에 대해 실험적으로 검증하고자 했음을 밝히고 이에 대한 실험으로서 입자 산란실험이 매우 유력한 실험이었음을 설명한다.

"Since the α and β particles traverse the atom, it should be possible from a close study of the nature of the deflexion to form some idea of the constitution of the atom to produce the effects observed." ... This type of process (called scattering), in which one observes the scatter of the incident particles from the targets, to study the nature either of the incident particles or the target, has become one of the primary tools in the study of atoms, nuclei, and fundamental particles. (Cooper, 1992, pp.316-317)

다른 일반물리학 교재들이 대체로 Rutherford의 α 입자 산란 실험의 내용과 그 결과 정도만을 소개하는 것에 반해, Cooper 일반물리학 교재는 이러한 실험들이 당시 왜 수행되어야 했는지, 그리고 원자의 내부 구조를 알아보는데 있어서 이와 같은 산란실험이 왜 유용했는지 등에 대해 그 맥락을 소개하고 있는 것이다. 뿐만 아니라 Cooper 일반물리학 교재는 Rutherford의 실험 결과가 어떠한 다른 과정 없이 곧바로 그의 원자핵 아이디어로 이어진다는 듯이 서술하고 있지 않다. 오히려 Rutherford가 그의 실험 결과를 해석하면서 Thomson이 제안한 원자 모형으로 실험 결과를 설명하려 시도했으며, 여러

가정과 계산, 비교 등을 통해 원자핵의 존재를 인정할 수밖에 없다는 결론에 이르기까지의 과정들을 하나하나 보여주고 있다.

이와 같은 방식으로 Cooper 일반물리학 교재는 원자의 구조에 해당하는 내용에서 물리학 개념이나 혹은 이론에 대해서 단순히 결과적으로 제시하지 않고 그러한 주제가 등장하게 된 맥락이나 배경, 그리고 결론에 이르게 되는 과정까지 잘 보여주려 하고 있음을 확인할 수 있다.

이와 같이 Cooper 일반물리학 교재가 물리학 개념이나 이론의 맥락, 배경을 강조하고 있는 특징에 대해서, 교재의 저자 Cooper는 다음과 같이 이야기한 바가 있다.

What led me to the belief that physics and science should be taught in historic context is that some questions make sense only in the context of their time. Further, almost any issue is illuminated by putting it in context. (Niaz et al., 2010, p.42)

Cooper는 물리학을 학습하는 데 있어서 역사적 맥락 안에서 가르쳐야 하는 이유가 몇몇 질문들이 오로지 당시 시대의 맥락에서만 이해될 수 있는 질문이기 때문이라고 이야기한다. 그리고 그렇게 역사적 맥락에서의 물리학 교육을 강조하면서 다음과 같이 말한다.

Again, the milieu of the time is important. ... It seems obvious that questions take their meaning in the context of what people believe at the time, and if you don't communicate this, you really are not communicating why people did things, why it was difficult, and how the ideas that we now accept evolved. (Niaz et al., 2010, p. 45)

Cooper는 물리학을 가르치고 배움에 있어서 milieu of the time(시대적 환경)이란 개념이 매우 중요하다고 강조한다. 이것은 물리학 이론이나 개념에 관련한 시대적인 환경 혹은 맥락 등을 의미한다. 구체적으로 특정한 물리학 개념이 왜 생기게 되었는지? 혹은 어떤 과정을 거쳐서 그러한 결론에 도달하게 되었는지? 그 문제가 왜 중요한 것이었는지? 등의 질문들과 관련된 시대적이고 역사적인 내용들이 바로 이러한 시대적 환경(milieu of the time) 개념에 속하는 것이다. 이와 같은 시대적 환경(milieu of the time)을 강조하면서 물리학을 가르쳐야 한다는 생각은 마치 기존의 과학교육 연구들이 과학사(history of science)를 강조하던 것과 유사한 것처럼 보인다. 예를 들어 Matthews(1994)는 과학을 가르침에 있어서 과학사가 중요하게 여겨져야 하는 이유를 설명하는데, 대체로 그 이유들은 과학의 본성에 대한 학생들의 이해 혹은 학생들의 과학적 사고나 과학적 태도의 함양 차원에서 다뤄진다. 그러나 본 연구에서 살펴본 Cooper 일반물리학 교재의 저자 Cooper가 시대적 환경(milieu of the time)이라는 개념을 통해 역사적 맥락을 강조하는 것은 이와는 조금 다른 의미로 보인다. 기존의 과학사를 강조한 논의들이 학생들의 과학적 태도 혹은 과학에 대한 메타적 인식 등에 더 초점을 맞추었다면, Cooper가 물리학 학습에서 역사적 맥락을 강조하는 이유는 물리학 내용 지식 자체에 대한 이해를 위한 것이었다. 즉, Cooper에게 있어서 역사적 맥락에서 물리학을 살펴보는 것은 물리학 개념이나 이론에 자체에 대한 이해에 있어서도 필수적이란 것이다. 따라서 Cooper는 이와 같은 역사적 맥락에서의 물리학 학습이 지니는 중요성을 다음과 같이 역설하고 있으며,

And, as I said above, if you're going to train physicists, you have to be sure that they master the techniques. However, if they are going to be important scientists, they're going to have to take things apart. It's

extraordinarily valuable to see how that was done in the past. (Niaz et al., 2010, p.44)

그의 일반물리학 교재의 서문에서도 독자들에게, 즉 학생들과 강의자들에게 물리학 학습에 있어 시대적 환경(milieu of the time)의 중요성을 다음과 같이 설명하고 있다.

A question often very puzzling to students is why such a thing was done at such a time. Frequently the answer can only be given in the milieu of the time—the problems that seemed important, the opinions of the people involved. Since the reader in a sense is duplicating the process of the original author (he is struggling to arrive at the concept), he can be helped and reassured by seeing part of the struggle, examining the alternatives, and having underlined what is evident to him—that the concept he is trying to understand is not at all obvious. The original material used in the attempt to place the various themes in context (although I have made a great effort to be accurate) is intended more as pedagogy than history. (My approach to history in any case is closer to Herodotus than Thucidites.) (Cooper, 1992, p.xii)

따라서 이와 같이 Cooper 일반물리학 교재의 원자의 구조 단원에서 잘 드러나는 역사적 맥락이나 배경에 대한 서술과 이와 관련된 저자 Cooper의 생각을 살펴보면, Cooper 일반물리학 교재는 학생들로 하여금 단순히 물리학적 개념이나 이론의 결론적 지식을 습득하게 하기보다는 그러한 물리학적 지식을 맥락과 배경 가운데 학습하게 함을 볼 수 있다.

2) 물리학 이론의 핵심 의미를 보여주다

앞서 밝힌 대로 Cooper는 물리학 이론이나 개념들의 의미가 역사적인 맥락 속, 즉 시대적 환경 속에서 제대로 드러난다고 이야기하였다. 그렇다면, 이렇게 시대적 환경 속에서 드러난 물리학 이론 및 개념의 의미는 무엇인가? 물리학 개념이나 이론의 의미는 다시 말하자면 "그러한 물리학 개념이나 이론이 궁극적으로 말하고자 하는 바" 라고 표현할 수 있을 것이다. 따라서 그것들이 말하고자 하는 바는 당시의 맥락 속에서 물리학자들의 의도나 생각들을 살펴 보는 것이 올바르게 찾는 방식이 된다고 볼 수 있다. 그렇다면 그렇게 시대적 환경 속에서 우리가 알아야 하는 물리학 개념이나 이론들의 핵심적인 의미는 도대체 어떤 것들인가? 일반물리학 교재는 몇몇 부분들을 통해 이와 같이 시대적 환경을 잘 반영하여 물리학 내용을 서술하면서 자연스럽게 당시 물리학자들이 물리학 이론이나 개념들을 통해 말하고자 하는 것, 혹은 물리학 개념들 이면에 중요하게 생각하는 가치 등이 무엇인지 소개하고 있다.

가장 대표적으로 나타나는 부분은, 원자의 구조와 관련되어 물리학자들이 여러 자신들의 아이디어들(원자 모형들)을 통하여 '물질의 안정성(stability of matter)' 문제를 해결하는 것을 중요시했음을 보이는 것이다. 여기서의 '안정성(stability)'은 물질이 붕괴되거나 없어지지 않고 안정적으로 존재하는 것 뿐 아니라, 항상 어떤 물질이나 원소가 항상 그 물질이나 원소로서 있게 하는 그 성질을 말한다. (예를 들면, 수소원자는 어떤 수소원자를 가져다 관찰하여도 수소원자 그대로이며, 어떤 수소원자라도 그 스펙트럼 패턴은 동일하게 나타나는 것) Cooper 일반물리학 교재의 원자의 구조 단원의 본문에서는 원자에 대한 과학자들의 탐구에서 이와 같은 원자의 '안정성' 문제가 중요한 문제이며 원자 모형에서도 그 문제를 해결하는 것이 중요하였음을 지속적으로 보이고 있다. 구체적으로 원자 모형의 안정성 문제와 관련하여, Cooper 일반물리학 교재에서 다음과 같은 서술들을 찾을 수 있었다.

Since vibrating electrons would emit light, according to Maxwell's theory, presumably the electrons and the positive material were at rest when the atom was undisturbed. (There was a problem here because it was known that a distribution of charges of this kind could not remain at rest in a stable configuration under electrical forces alone, however, it was possible that in the interior of the atom there were other forces as well.) J. J. Thomson developed this idea and investigated in particular those arrangements of corpuscles (electrons) that would lead to stable configurations (given a fixed distribution of positive charge). (Cooper, 1992, p.315)

Rutherford felt, in 1911, that "... the stability of the atom proposed need not be considered at this stage . . .," but in 1912 and 1913 these considerations became paramount. ... The requirement of Maxwell's theory that an electron accelerating about a positive central charge should radiate energy undermined the possibility for the stability of the Rutherford atom from the point of view of classical physics. The time it takes for an electron to spiral into the nucleus from a typical orbit is very short—of the order of billionths of a second—uncomfortably inconsistent with our sense of the stability of the atomic matter of which we are made. (Cooper, 1992, pp.323–324)

Each of these assumptions—the quantization condition, the lack of radiation while in one of the quantized orbits, and the radiation in the leaps between the orbits—was contrary to what was then known of classical theory. However, it was necessary to postulate the stability of the atom in some way. The radiation in jumps seemed to be consistent with what had

already been revealed by Einstein and Planck. And the quantization condition was no too different from the original condition of Planck. Let us follow this mixture of classical and nonclassical postulates to see the kind of atom that Bohr obtained. (Cooper, 1992, p.333)

위의 내용들을 살펴보면 Thomson, Rutherford, 그리고 Bohr의 원자 모형 모두에서 안정성의 문제가 다뤄지고 있음을 확인할 수 있다. Cooper 일반물리학 교재는 먼저 Thomson의 원자 모형에 대한 내용에서는, Lord Kelvin (혹은 William Thomson)이 제안한 정적인 원자 모형 -흔히 푸딩 모형이라 알려져 있는- 이 지니고 있는 정전기적 안정성 문제를 지적하고 전자를 발견한 J. J. Thomson이 이와 같은 안정성의 문제를 해결하기 위해 새로운 전자 배열을 가진 모형을 제안했다고 설명한다. 또한 Rutherford의 원자 모형과 관련한 내용을 살펴보면 1911년 원자핵의 아이디어를 제안했을 당시 Rutherford가 안정성 문제를 고려하지 않았었지만, 시간이 흐른 뒤에 그것이 매우 큰 문제가 되었다는 역사적 맥락을 소개하고 있다. 그리고 이러한 안정성의 문제는 Rutherford의 원자 모형이 근거하고 있는 고전 역학 및 고전 전자기학에서 비롯되었다고 밝힌다. 마지막으로 Bohr의 원자 모형과 관련해서도, Bohr의 원자에 대한 가설이 안정성 문제를 해결하기 위한 결과임을 보여주고 있다.

따라서 이와 같은 교재의 내용들을 종합해보면, Cooper 일반물리학 교재는 원자의 구조와 관련하여 물리학자들의 원자 모형을 제시할 때, 그들이 제시한 원자 모형이 어떻게 생겼느냐를 가르치는 것 보다는 그러한 원자 모형을 통하여 물리학자들이 물질의 안정성 문제를 설명하려 했다는 점을 전하고자 하는 것으로 볼 수 있다.

한편, 원자 모형의 안정성을 추구하는 내용 외에 Cooper 일반물리학 교재

에서는 물리학 개념이나 이론들의 의미나 가치 등에 대해 표현하는 서술 또한 많이 보인다. 예를 들어, 교재에서 Rutherford의 원자 모형에 관하여 Bohr의 회상을 직접적으로 인용하여 서술하는 부분이 있다.

"Rutherford's model of the atom puts before us a task reminiscent of the old dream of philosophers: to reduce the interpretation of the law of nature to the consideration of pure numbers." (Cooper, 1992, p.322)

교재에서 인용된 Bohr의 말에 의하면 Rutherford의 원자핵 모델이 가지고 있는 의의는 자연 법칙에 대한 해석을 순수하게 숫자들의 문제로 축소시키는 것이라 한다. 이와 같은 부분은 일반물리학 교재가 단지 원자의 구조 모형에 대한 정보를 학생들에게 전달하기 보다는, 그러한 원자 모형이 궁극적으로 어떤 의미가 있으며 무엇을 말하고자 하는 것인지 Bohr의 말을 빌려 표현한 것이라 볼 수 있다. 또한 교재에서는 원자 모형이나 과학자들의 아이디어를 설명하면서 과학에서는 잘 쓰지 않을 법한 가치 표현인 '경제적(economical)'이란 단어를 종종 사용하는 모습을 보인다. 이것은 역시 물리학 개념이나 이론 내용의 전달을 넘어서, 물리학 이론과 개념에는 경제성 혹은 단순성을 추구하는 것이 그 이면에 깔려 있음을 나타내는 것으로 보인다.

2.3. 물리학의 과정을 생생하게 보여준다

최근까지의 물리교육의 연구에서는 학생들에게 물리학의 개념 등의 내용 지식뿐 아니라 물리학을 포함한 과학의 과정 등의 모습도 가르쳐야 한다고 주장되어 온 바 있다. 이는 학생들이 물리학 지식을 경험적이고 필연적으로 당연하게 얻어지는 지식이라고 믿는 것을 방지하고, 물리학 지식의 참 의미를 전달하기 위함이라 볼 수 있다 (Niaz, 2010). 이런 맥락에서, 본 연구에서

분석한 Cooper 일반물리학 교재 역시 그 본문 내용의 서술에서 학생들에게 물리학의 과정이나 물리학의 방법에 대해 지속적으로 보여주려 하고 있음을 발견할 수 있었다.

1) 새로운 자연현상은 알고 있는 것을 바탕으로 이해한다

가장 먼저 Cooper 일반물리학 교재의 내용 서술에서 드러나는 물리학의 과정이나 방법은, 새로운 자연현상에 대한 물리학자들의 일반적인 이해 방식이다. 이와 같은 물리학의 방법 혹은 과정에 대해 원자의 구조에 대한 탐구 내용에 자연스럽게 녹여 설명할 수도 있지만, 교재에서는 그 전에 먼저 직접적으로 이러한 물리학의 과정에 대해 다음과 같이 설명하기도 한다.

Yet, one would rather endlessly and hopelessly manipulate the last two rather than go back to the beginning and admit that it is another order, right from the beginning, which will fit all the numbers into their place. When one has successfully constructed a theory that encompasses so much of the world, it is hard to admit that it will have to be razed so that its foundations can be rebuilt completely. Rather, one struggles for a very long time to adapt, to modify, to cut, and to alter so as to include even the most unfriendly and alien facts into the compass of a point of view which one knows, which one has been taught, and whose success is demonstrable and great. (Cooper, 1992, p.301)

위의 서술에서 우리가 익숙하지 않은 새로운 사실들(혹은 자연 현상들)을 마주할 때 여러 노력을 거쳐 우리가 이미 구성해놓은 성공적인 이론의 틀 안에 그것들을 포함시키고 설명한다고 이야기함에 주목할 필요가 있다. 바로 이것이 Cooper 일반물리학 교재가 보여주는 물리학의 과정의 첫 번째 특징이

다. 다시 말해, 일반적으로 물리학은(혹은 과학은) 새로운 자연현상을 접하게 되면, 그것에 대해 이해하고자 할 때 기존에 알고 있던 것을 바탕으로 이해를 추구한다는 것이다. Cooper 일반물리학 교재는 본문에서 서술된 원자의 구조에 대한 물리학자들의 탐구의 흐름 속에서 이와 같은 물리학의 방법들을 잘 보여주고 있다. 예를 들면, Thomson의 전자 발견과 그가 제안한 원자 모형과 관련하여 Cooper 일반물리학 교재는 다음과 같이 설명하고 있다.

This enterprise on which Thomson and his colleagues were embarking was still very much within the classical system. It was generally assumed that Maxwell's equations described the behavior of electricity and magnetism and that Newton's equations, when necessary modified according to the theory of relativity (we shall always understand by Newton's equations their relativistic modifications), governed the motion of matter. The important forces between subatomic particles were presumed to be electrical; gravitational forces are too small to be of significance compared to electrical forces. Thus the concepts were all those of classical physics and this beginning attempt to construct an atom was very much like previous attempts to construct a gas or a rigid body. One used known or newly discovered materials and combined them according to known rules in an attempt to obtain an object that had the needed properties. (Cooper, 1992, p. 315)

교재는 Thomson의 원자 이해를 위한 모든 작업들이 고전 물리학의 시스템에서 이뤄지고 있음을 설명한다. 특히 직접 눈으로나 현미경으로 그 모습을 관찰할 수 없는 원자나 전자 등을 마치 기체 분자나 강체(rigid body)처럼 여기면서 이해하고자 함을 설명하고 있다. 다시 말해, 이와 같이 고전 물리학

법칙의 지배를 받는 강체와 같이 원자나 전자의 운동이나 성질을 이해하고자 했다고 설명하는 것이다.

마찬가지로 원자의 구조에 대한 탐구의 흐름에서 이와 같은 방식의 또 다른 사례로 Rutherford의 원자 모형에 대한 Cooper 일반물리학 교재의 서술을 들 수 있다.

The electron cannot stand still without support; it would fall into the nucleus, just as a still earth would fall into the sun. But the electron can revolve about the nucleus—a charged solar system, an absurd analogue of the planetary solar system. ... It is perfectly feasible to construct a little charged solar system in which the electron revolves about the proton. (Cooper, 1992, p. 323)

위의 서술을 살펴보면, Cooper 일반물리학 교재는 Rutherford의 실험을 통해 원자핵의 존재를 받아들일 수밖에 없는 상태에서 원자핵과 전자가 함께 안정적으로 원자를 구성하면서 존재할 수 있는 방법을 전기적인 태양계(charged solar system)를 구성하는 것이라 설명한다. 즉, 원자의 탐구로부터 얻어지는 실험 결과들을 설명하기 위해 기존에 알고 있고 잘 설명이 되고 있는 것을 바탕으로 이해하는 모습을 보이는 것이다. 큰 질량의 물질 주변을 작은 질량의 물질이 서로의 인력을 기반으로 하여 공전하고 있는 모습은 고전 역학적으로 전혀 문제가 없을 뿐 아니라 매우 강력한 설명력을 가진다. 따라서 양전하를 띤 큰 질량의 원자핵 주위를 음전하를 띤 작은 질량의 전하가 공전하고 있다는 태양계와 유사한 모델을 설정한 Rutherford의 모델은 물리학이 일반적으로 편하게 취할 수 있는 새로운 자연현상이나 새로운 지식에 대한 이해 방식이라 할 수 있다. Cooper교재는 이와 같은 방식의 생각을 경

제적(economical)이라 표현하면서 이것이 자연스럽고 쉽게 떠올릴 수 있는 방식의 사고 과정임을 강조하였다.

2) 가끔은 비일관적이며 직관적인 방법도 사용한다

그런데, 모든 자연현상들이 기존에 알고 있던 것을 바탕으로 이해 가능하며 기존의 이론에 모두 다 포함시킬 수 있는 것이 아니다. 또한 기존에 알고 있는 방식만으로는 새로운 자연현상을 발견하기도 쉽지 않을 것이다. 어느 순간엔 논리적이지 않고, 혹은 일관성 있지 않더라도 새롭고 직관적인 접근을 해야 할 수 있다. 그리고 실제로 과학사에서는 이러한 사례들이 종종 나타나고 있으며, 원자의 구조를 탐구하는 역사에서도 이러한 점이 매우 강력하게 드러난다 (Niaz 1998). Cooper 일반물리학 교재의 원자의 구조 단원 본문에는 원자에 대한 탐구 중 드러난 이와 같은 직관적인 방법, 혹은 비일관적인 방법들을 몇몇 소개하고 있다.

그런데, 모든 자연현상들이 기존에 알고 있던 것을 바탕으로 이해 가능하며 기존의 이론에 모두 다 포함시킬 수 있는 것이 아니다. 또한 기존에 알고 있는 방식만으로는 새로운 자연현상을 발견하기도 쉽지 않을 것이다. 어느 순간엔 논리적이지 않고, 혹은 일관성 있지 않더라도 새롭고 직관적인 접근을 해야 이해할 수 있는 경우도 있다. 그리고 실제로 과학사에서는 이러한 사례들이 종종 나타나고 있으며, 원자의 구조를 탐구하는 역사에서도 이러한 점이 매우 강력하게 드러난다 (Niaz, 1998). Cooper 일반물리학 교재의 원자의 구조 단원 본문에는 원자에 대한 탐구 중 드러난 이와 같은 직관적인 방법, 혹은 비일관적인 방법들을 몇몇 소개하고 있다.

한편, Cooper 일반물리학 교재는 물리학자들이 자연 현상을 이해하고 설명하는데 있어서 번뜩이는 직관을 발휘한다는 것 외에도 일관적이지 않은 ad hoc의 방법을 사용하거나 비일관적인 개념들의 혼합 등을 사용한다는 것을

보여주고 있다. 이에 대해 잘 드러나는 부분이 Bohr의 원자 모형이 기반으로 하고 있는 양자 개념, 즉 Planck 상수에 대한 내용이다.

A great deal of thought was devoted to the problem with no real success until Max Planck introduced the rather startling and completely ad hoc hypothesis that the light was emitted in bundles in the black-body enclosure and that the amount of energy in each bundle was related the frequency of the light by Planck's assumption was ad hoc; it was unprecedented; it was askew to everything that had occurred before in classical theory; but it had one virtue: the resulting theoretical distribution of radiation was almost identical with what was seen coming out of the hole in the oven (Fig. 31.2). (Cooper, 1992, pp.326-327)

Cooper 일반물리학 교재는 Planck가 기존의 고전 물리학의 이론으로는 흑체 복사 현상을 잘 설명할 수 없어 양자 개념을 생각했는데, 그것이 고전 물리학의 이론 체계 내에서 유도될 수 있는 고전 물리학의 개념이 아니라 ad hoc임을 직접적으로 밝히고 있다. 그렇지만 여기서 Cooper 일반물리학 교재가 이러한 Planck의 ad hoc이 어떤 의미를 가지는지 설명하는 부분에 주목해야 할 필요가 있다고 본다. 일반적으로 ad hoc이라는 방식에 대해 어떤 것의 설명을 위하여 억지로 일관적이지 않거나 전혀 다른 성질의 것을 가져다 붙인 것이라는 느낌을 갖는다. 따라서 어떤 면에서 보았을 때, ad hoc은 일시적으로는 필요에 따라 있을 수 있지만, 계속적으로 사용되는 방법이라기보다는 지양해야 할 것으로 여겨진다. 그런데 Cooper 일반물리학 교재는 이와 같은 Planck의 ad hoc을 하나의 미덕(virtue)라고 설명하고 있다. 즉, 그러한 ad hoc이 결과적으로는 흑체 복사 현상을 이론적으로 잘 설명할 수 있었음에 주목하는 것이다.

이와 유사하게 비일관적인 방식으로 자연 현상을 설명하려고 함이 보이는 부분이 바로 Bohr의 원자 모형이다.

Focusing his attention entirely on the construction of a nuclear atom Bohr took what principles of classical physics he needed and added several nonclassical hypotheses almost without precedent; the mélange was not consistent. But they formed a remarkably successful theory of the hydrogen atom. ... There was a certain presumption in asserting what was contrary to Maxwell's electrodynamics and Newton's mechanics, but Bohr was young. The correctness of his vision was its closeness to what was in fact being observed. (Cooper, 1992, pp.324-325)

Bohr의 원자 아이디어에 대한 Cooper 일반물리학 교재의 설명을 살펴보면, Bohr가 그의 원자 모형을 구성하기 위해 고전 물리학과 비-고전적인 가정들을 혼합하였으며 그것이 비일관적이라고 직접적으로 서술하고 있다. 그리고 이러한 Bohr의 가정이 기존의 Maxwell의 전자기 이론이나 Newton의 역학과 반대되는 것이라고 설명한다. 여기서 흥미로운 점은 이처럼 기존에 받아들여지던 Maxwell 이론 및 Newton 이론과 반대되는 아이디어를 제안했다는 것은 당시 물리학에서의 큰 권위에 대한 도전으로 여겨졌을 것이다. 그러나 Bohr는 그러한 제안을 대담하게 하였고, 이런 점을 Cooper 일반물리학 교재는 "Bohr는 젊었다"라고 표현함으로써 Bohr의 대담함이나 패기를 보여주었다. 그리고 결국 Bohr의 그러한 관점이 원자에 대해 관찰되는 사실들을 더 잘 설명하는 것이 되었다고 이야기한다.

이처럼 물리학에서는 모든 것이 하나의 이론체계 안에서 정합적이고 필연적으로 설명되는 것이 아니며 어떤 순간에는 위아 같은 ad hoc의 방법으로도 자연 현상을 설명하였음을 Cooper 일반물리학 교재는 본문 내용에서 잘 보여

주고 있다.

3) 설명하기 힘든 새로운 현상은 알고 있는 것도 바꾸게 한다

이처럼 새로운 자연 현상을 기존에 알던 것으로 설명이 되지 않는 상황이 발생하고, 어떤 때는 번뜩이는 직관을 발휘하거나 어떤 때는 일관적이지 않은 개념이나 아이디어를 ad hoc의 방법으로 추가하여 설명되지 않던 현상을 설명한다는 내용들을 Cooper 일반물리학 교재에서 살펴볼 수 있었다. 그러나 Cooper 일반물리학 교재에서는 여기서 그치지 않고 이와 같은 이유나 근거를 설명하기 힘든 직관 혹은 ad hoc 방법으로 추가한 비일관적인 아이디어들이 그대로 유지되는 것이 아니라 하나의 정합적이고 일관된 이론 체계로 새롭게 구성됨을 보여준다.

예를 들면, Thomson의 원자 모형에 대한 설명 후에 교재는 이러한 Thomson의 모형에는 음극선 실험을 비롯한 다양한 현상을 설명하기 위한 많은 가정들이 담겨있다고 이야기한다. 물리학은 오로지 사실들을 바탕으로 객관적인 지식을 유도해야 한다고 생각할 수 있지만, Cooper 일반물리학 교재는 다음과 같은 서술을 통해 이러한 가정들의 가치를 이야기한다.

When the consequences were in disagreement with experience, they were abandoned. And when the most likely assumptions were clearly contradictory to classical ideas, it was classical physics that was abandoned. (Cooper, 1992, p.316)

다시 말해, 고전 물리학으로 설명하기 힘들었던 현상을 설명하기 위한 가정들이 그 현상을 잘 설명하고 있다면, 그리고 그 가정들이 고전 물리학과 배치된다면, 고전 물리학을 포기할 수 있다는 것이다. Cooper 일반물리학 교재

는 이처럼 고전 물리학을 포기하고 새로운 물리학이 그려지는 순간 까지 위의 서술처럼 설명되지 않는 자연 현상들과 이에 대한 가정들을 하나하나 보 이면서 내용을 이끌어 간다: 원소별 선 스펙트럼, 방사능 현상부터 Rutherford의 원자핵 모형 까지. 그리고 이와 같이 고전 물리학과 대치되는 가정들이 쌓이고 고전 물리학을 포기하는 그 순간을 Bohr의 원자 아이디어에 서 보여주고 있다.

There was a certain presumption in asserting what was contrary to Maxwell's electrodynamics and Newton's mechanics, but Bohr was young. The correctness of his vision was its closeness to what was in fact being observed. And in the end the problem of theoretical physics was to make consistent his assertions. (Cooper, 1992, p. 325)

Cooper 일반물리학 교재는, Bohr의 원자 모형이 담고 있는 기존의 고전 물리학들과는 대치되는 가정들이 원자에 대해 관찰된 것들을 잘 설명하고 있다고 설명한 후, 결국 이론 물리학이 Bohr의 (고전 물리학과는 비일관적인) 가정들을 일관적인 이론 체계가 될 수 있도록 하는 것이 당시의 과제였다고 말한다. 즉, 고전 물리학으로 설명하기 어려웠던 원자와 관련된 현상들을 설명한 Bohr의 아이디어를 중심으로 고전 물리학과는 다른 새로운 물리학 체계가 등장하게 되었다는 것이다 (우리는 그것을 "양자 역학"이라고 부른다). Cooper 일반물리학 교재는 이와 같은 내용을 단지 교재 저자의 말로 저술하는 데서 끝나지 않고 Planck의 말을 직접 인용하여 양자 개념이 새로운 물리학의 기반이 되었다는 상황을 생생하게 전하고 있다.

Planck says he... tried immediately to weld the elementary quantum of action h somehow into the framework of the classical theory. But in the

face of all such attempts, this constant showed itself to be obdurate. "failure of every attempt to bridge this obstacle soon made it evident that the elementary quantum of action plays a fundamental part in atomic physics. ..." (Cooper, 1992, p.328)

이와 같이 점점 기존의 물리학 이론으로 설명되지 않고 그 안에 포함되지 않는 현상이나 아이디어들이 새로운 물리학의 모습으로 이끌었다는 내용들은 마치 28장에서 다뤄졌던 태피스트리의 비유 내용-고전 물리학의 그림에 어울리지 않는 새로운 색의 실들이 지속적으로 엮이면서 전혀 알지 못했던 새로운 그림으로 이끌 수 있다는 내용의 비유-을 상기시킨다.

In the tapestry that was classical physics, if one could have looked properly, one would have discerned those threads of a new color that did not fit the many themes and variations of the Newtonian woof and warp. But whether these alien threads would disappear, an error of the weavers hand, or whether they would continue and develop into new and rich themes of their own was something the spectator, or even the weaver, could not know too well at the time. (Cooper, 1992, p.302)

결론적으로 Cooper 일반물리학 교재는 물리학 지식이 형성되는 과정이나 방법에 대하여, 단지 실험이나 관찰을 통해 필연적으로 얻어지는 것이 아니며, 그렇게 관찰된 자연 현상에 대한 설명과 이해를 위해 과학자들이 어떻게 사고하고 어떤 방식의 태도들을 취했는지를 역사적 맥락 속에서 생생하게 보여주고 있다고 본다. 여기서 본 연구에서 중요하게 보았던 점은 Cooper 일반물리학 교재가 이와 같은 물리학의 과정이나 방법들을 교재의 본문 속에 잘 녹여내며 설명하는 것이 단지 학생들에게 이러한 물리학의 과정이나 방법들을

알아두라고 하는 것이 아니라는 점이다. Cooper 일반물리학 교재의 서술들을 살펴보면, 과학자들이 직관을 발휘하는 것, 그리고 일관되지 않은 어떤 아이디어를 ad hoc의 방법으로 제안하는 것, 기존의 물리학 이론과는 대치되는 아이디어를 제안하는 것 이 모든 것들이 결국은 '자연 현상을 잘 설명하고자 하는' 것에 초점을 맞추고 있다는 점이다.

예를 들어, Bohr의 원자 아이디어에 대한 설명에서 Cooper 일반물리학 교재는 Bohr가 고전 물리학과 비-고전적인 가정을 섞었지만, 그것이 수소원자를 성공적으로 설명하는 이론이 되었다는 점을 강조하였다 (Cooper, 1992, p.325). 또 다른 예로, 앞서 살펴보았듯이 Planck의 양자 개념에 대한 가설을 ad hoc의 방식으로 제안된 것이지만, 그것이 오히려 흑체 복사 현상을 잘 설명할 수 있었기에 이와 같은 방법이 물리학에서 일종의 '미덕(virtue)'이 되었다고까지 표현하고 있다.

따라서 이와 같은 Cooper 일반물리학 교재의 서술을 보건데, Cooper 일반물리학 교재는 학생들에게 물리학의 과정들을 생생하게 그대로 보여주려 노력하였으며, 이를 통하여 단지 물리학을 하는 방법만을 가르치려고 하는 것이 아니라 물리학이 궁극적으로는 자연 현상에 대해 이해하고 설명하는 것을 추구하고 있다는 점을 놓치지 않고 강조하고 있는 것이다.

2.4. 물리학 교재 같지 않은 문체

Cooper 일반물리학 교재를 처음 접하게 되면, 곧바로 그 동안 많이 접해왔던 물리학 교재들과는 다르다는 것을 느낄 수 있다. 이것은 단지 Cooper 일반물리학 교재가 내용 구성의 흐름을 독특하게 했다던가, 본문의 서술 내용에서 앞서 분석된 것처럼 물리학의 메타적 관점이나 의미, 혹은 물리학의 과정 등을 보여주었기 때문만도 아닌 것으로 보인다. 오히려 Cooper 일반물리학 교재가 주변에서 흔히 볼 수 있는 물리학 교재와 다르게 느껴지도록 만드는

것은 교재를 읽자마자 알 수 있는 Cooper 일반물리학 교재의 독특한 서술 방식, 즉 교재의 독특한 문체라 생각된다. 여기서는 이와 같이 물리학 교재 같지 않은 느낌을 주는 Cooper 일반물리학 교재의 독특한 문체적인 특징을 살펴보고자 한다.

1) 독자들과 대화하고자 한다

일반적으로 대부분의 물리학 교재는 학생들에게 물리학적 개념 지식을 효과적으로 전달하는데 초점을 맞춘다. 따라서 이러한 교재들의 서술 방식은 물리학 개념 지식을 간결하고 명확하게 전달하는 일종의 정보 전달 형식의 특징을 지니는 경우가 많음을 볼 수 있다. 대표적인 예를 들면, 가장 많이 사용되고 있는 Halliday & Resnick 일반물리학 교재를 살펴보면, 원자의 구조 내용과 관련된 교재의 본문 중 Bohr의 원자 모형과 관련된 내용이 다음과 같이 서술되어 있다.

The Bohr Model of Hydrogen, a Lucky Break

By the early 1900s, scientists understood that matter came in tiny pieces called atoms and that an atom of hydrogen contained positive charge e at its center and negative charge e (an electron) outside that center. However, no one understood why the electrical attraction between the electron and the positive charge did not simply cause the two to collapse together.

Visible Wavelengths. One clue lay in the experimental fact that a hydrogen atom can emit and absorb only four wavelengths in the visible spectrum (656 nm, 486 nm, 434 nm, and 410 nm). Why did it not emit all wavelengths as, say, a hot blackbody radiator? In 1913, Niels Bohr had a

remarkable idea that simultaneously explained not only the four visible wavelengths but also why the atom did not simply collapse. However, as successful as his theory was on those two counts, it turned out to be quite wrong in almost every other aspect of the atom and led to very little success in explaining atoms more complicated than hydrogen. Nevertheless, the Bohr model is historically important because it ushered in the quantum physics of atoms.

Assumptions. To build his model, Bohr made two bold (completely unjustified) assumptions: (1) The electron in a hydrogen atom orbits the nucleus in a circle much like Earth orbits the Sun (Fig. 39-16a). (2) The magnitude of the angular : momentum L of the electron in its orbit is restricted (quantized) to the values

$$L = n\hbar \quad \text{for } n = 1, 2, 3, \dots, \quad (39-23)$$

where \hbar is and n is a positive integer (a quantum number). We are going to follow Bohr's relatively simple arguments to get an equation for the quantized energies of the hydrogen atom, but let's be explicit here: The electron is not simply a particle in a planetary orbit and Eq. 39-23 does not correctly give the angular momentum values. (For example, $L = 0$ is missing.) (Halliday & Resnick, 2013, p. 1203)

위의 내용은 Halliday & Resnick 일반물리학 교재에서 Bohr의 원자 모형과 관련된 내용의 시작부터 Bohr의 원자 가설까지 소개하는 내용이다. 교재 본문의 처음 도입부분부터 Bohr의 원자 가설에 대한 소개까지 살펴보면, 1900 년대의 물리학자들의 원자에 대한 이해 상황을 설명하고 있으며, 이를 위해 Bohr가 새로운 아이디어를 냈으며, 그 아이디어인 Bohr의 원자 가설이 무엇 인지를 설명하는 방식으로 서술되어 있다. 이와 같은 서술을 보면 교재의 본문은 대체적으로 학생들에게 Bohr의 원자와 관련된 물리학 지식 정보들을 전

달하는 방식으로 서술됨을 볼 수 있다. Bohr의 원자 내용 뿐 아니라 다른 부분들을 살펴봐도, 대부분 이와 같이 정보 전달의 방식으로 서술됨을 확인할 수 있다. 다시 말해, 이는 대부분의 물리학 교재들이 물리학 개념이나 지식의 정보들을 전달하는 것에 초점을 맞춘 문체들로 서술되어 있다는 것을 말한다.

이와는 다르게 Cooper 일반물리학 교재는 단순히 정보를 전달하는 방식의 문체로 본문 내용이 서술되지 않음을 확인할 수 있다. 오히려 Cooper 일반물리학 교재의 서술은 마치 저자가 독자들(학생들)과 대화하려고 하는 듯한 방식에 더욱 가깝다고 볼 수 있다.

이와 같이 대화 하는 듯한 서술의 다양한 특징 중 대표적인 것은 교재가 끊임없이 독자들에게 의문이나 궁금증을 불러일으키거나 다음의 내용들을 암시/예고하는 방식의 서술들이 나타난다는 것이다. 구체적인 예를 들면 다음과 같다.

But whether these alien threads would disappear, an error of the weavers hand, or whether they would continue and develop into new and rich themes of their own was something the spectator, or even the weaver, could not know too well at the time. (Cooper, 1992, p.302)

Cooper 일반물리학 교재의 28장을 살펴보면, 교재는 19세기 말에서 20세기 초에 일어났던 물리학의 변동에 대한 설명을 태피스트리(tapestry)에 비유하여 서술하면서 이상한(alien) 실들이 그려낼 새로운 그림에 대해 암시하고 있다. 이러한 서술 뒤에 그렇게 그려지는 새로운 그림이 구체적으로 무엇인지는 바로 밝히지 않는다. 학생들에게(독자들에게) 역사적 맥락 속에서 새로운 양상이 펼쳐질 것이라는 암시를 주면서 그것에 대한 답은 곧바로 하지 않음

으로써 학생들이 궁금증을 가지고 계속 교재의 글에 빠져들게 하는 것이다. 이후 스펙트럼이나 X선 등의 내용들이 소개된 후에 교재는 28장을 다음과 같은 서술로 마무리한다.

These threads that were beginning to appear—the problems tint troubled Maxwell, a paradox first observed by J. Willard Gibbs, radio activity, X rays, the discrete spectral lines—single threads at first, did not disappear. The future would be dominated by themes which, reading backward, one could see to begin with these lonely strands. But in the end it was on the trail of that old and elusive concept, the atom, that the world created by Newton and Descartes, the world of Democritus, Epicurus, Lucretius, and Gassendi came to the end of its usefulness. (Cooper, 1992, p. 308)

교재는 19세기 중후반에 발견된 설명하기 어려운 현상들, 다시 말해 Newton과 Maxwell의 그림에게는 이상한 색의 실들이 없어지지 않았다는 것. 그리고 이러한 실들이 결국 새로운 테마의 그림을 그려낼 것인데 바로 그것이 원자에 대한 탐구로부터 나오게 될 것이라는 점을 설명한다. 이와 같이 독자들에게 "이제부터 본격적으로 원자에 대한 이야기를 할 것이다"라고 말하는 듯한 서술을 통해 독자들을 원자라는 주제로 초대하는 것이다.

또한 Cooper 일반물리학 교재는 독자들을 끌어들이고 주제로 초대하는 역할 외에 독자들이 생각하고 고민할 수 있도록 하는 역할로써 결론적인 지식 정보를 서술하기보다는 의문점이 남아있는 열린 결말 형태의 서술도 사용함을 확인할 수 있다. 그것이 두드러지게 잘 드러나는 부분은 Bohr의 원자 모형에 대한 설명인데, 교재의 본문에서 다음과 같은 서술을 찾을 수 있다.

In 1913 Niels Bohr proposed his famous theory of the hydrogen atom. One

cannot say that he resolved the problems raised by Rutherford. In a sense he crystallized the dilemma in an even more dramatic form. Focusing his attention entirely on the construction of a nuclear atom Bohr took what principles of classical physics he needed and added several nonclassical hypotheses almost without precedent; the mélange was not consistent. But they formed a remarkably successful theory of the hydrogen atom. It would be years before it could be said that one had a consistent theory again. (Cooper, 1992, pp.324-325)

위의 교재 내용을 살펴보면, Rutherford의 원자 모형에서 비롯된 여러 문제들에 대해 Bohr가 그 해결로서 수소 원자에 대한 이론을 제안하였다고 서술되어 있다. 그런데 여기서 교재는 Bohr의 이론이 Rutherford로부터 비롯된 문제를 해결했다고 할 수는 없다고 이야기한다. 게다가 한편으로는 Bohr의 아이디어가 딜레마를 좀 더 극적으로 구체화시켰다고 이야기한다. 이러한 서술 이후의 내용에서 구체화된 딜레마가 어떤 것인지 설명을 하고 있지만, 이 글을 따라 읽어가던 독자들은 "그래서 Rutherford 원자 모형의 문제는 해결이 된 것인가?"라는 의문을 계속 가질 수밖에 없다. 그리고 이러한 풀리지 않는 질문에 대해 계속 생각하고 고민하면서 그 다음의 글들을 읽어나갈 수밖에 없게 된다. 이처럼 명료하게 결정된 결말을 제시하지 않는 서술방식은 31장의 마지막 부분에서 다시 찾을 수 있다.

In the period following 1913, elaborate efforts were made to understand what Bohr had done. Although his theory had been so successful for hydrogen, it could not be applied with any quantitative success to the other elements. Bohr worked for many years attempting to construct a theory of atomic helium. And although he was able to make a limited

connection with classical theory, this combination of classical, neoclassical, and contrary-to-classical principle Bohr had put together, which successfully for the first time produced a hydrogen atom, remained almost as much an enigma as before Bohr had begun to work. (Cooper, 1992, p.337)

일반물리학 교재는 Bohr의 원자 이론이 수소 원자에 대해서는 성공적으로 설명할 수 있었지만, 다른 원소들에 대해서는 설명하지 못했다고 서술한다. 그리고 Bohr 자신이 이러한 문제를 해결하기 위해 노력을 했다고 하면서, 그러한 Bohr의 노력에는 고전(classical) 이론, 신-고전(neoclassical)이론, 그리고 반-고전(contrary-to-classical) 이론이 결합되어 있다고 설명한다. 그런데 이와 같은 Bohr의 아이디어가 우리에게 더 많은 설명을 제공하고 점점 모르던 것이 알아가게 해주기보다는, 오히려 그 아이디어가 제안되기 전보다 더 많은 수수께끼를 남겼다고 이야기한다. 여기서 독자들은 어리둥절하면서도 대체 Bohr의 아이디어의 어떤 점이 수수께끼를 남겼는지, 그 정체가 무엇인지 다시금 돌아보며 검토해 볼 것이다. 그저 앞선 본문의 Bohr 원자 이론에 대한 설명을 아무런 비판 없이 받아들이다가 이와 같은 서술을 보고 그것이 이 문제가 있는 것임을 알게 될 것이다.

일반물리학 교재는 이와 같이 의문이나 궁금증을 불러일으키는 방식을 통해 독자들이 주제에 집중하며 빠져들 수 있도록 하기도 하고, 또한 물리학 내용 지식을 그저 무비판적으로 그리고 수동적으로 받아들이는 것이 아니라 독자들 스스로 생각하고 따져볼 수 있도록 안내하고 있다. 일반물리학 교재 서술의 문체에서 드러나는 또 다른 특징은 질문을 많이 사용한다는 것이다. 다른 일반물리학 교재들도 종종 질문 형식의 문장이 서술되곤 한다. 그러나 많은 경우 이러한 질문들은 물리학 개념이나 이론 등을 설명하는 중에 매끄러운 전개를 위해 가끔 삽입되곤 한다. 따라서 물리학 교재의 내용 흐름 속에서 독

자들에게 정말로 질문을 던지는 경우는 찾아보기 힘들다. 이와 다르게 Cooper 일반물리학 교재는 좀 더 적극적인 역할로서 질문의 형식을 사용한다. 예를 들어, Cooper 일반물리학 교재의 29장의 시작부분에서 교재는 원자에 대한 내용 서술을 다음과 같이 시작한다.

The hypothesis of the atom, that irreducible entity, patterns of which in the void form the objective world as we see it, is as old as our civilization:

Nature resolves everything into its component atoms.

Newton, hard, massy, and indivisible; the atom of kinetic theory, whose average kinetic energy is what we read as temperature; the atom of the chemist, whose uniform combinations reveal its presence in chemical reactions; the hydrogen atom of Prout, combinations of which make up all the elements. Often in disrepute, often in the background, for at least 25 centuries the concept of the atom had existed. But what was the atom? What meaning did it have to ask the question? By the turn of the century the elaborate development of classical theory and the introduction of new techniques made possible an increasingly insistent and detailed return to this question: What is the nature of the atom? That theme and its variations develop into a major movement of twentieth-century physics. (Cooper, 1992, p. 309)

위의 내용에서 Cooper 일반물리학 교재는 원자라는 주제와 관련지어 독자들에게 몇 가지 질문을 던진다. 원자란 무엇인가? 이런 질문을 해야 함은 무슨 의미인가? 그리고 더 나아가 원자라는 것의 본질(nature)은 무엇인가? 이와 같은 질문들은 단순히 내용설명에서 매끄러운 전개를 위해 등장시키는 질문들로 보기는 어렵다. 오히려 이 질문들은 원자의 구조와 관련된 탐구에

있어서 가장 근본적이면서도 핵심적인 질문이며, 이를 통해 교재는 독자들을 중요한 주제 - 원자란 무엇인가? - 로 초대하고 있다고 볼 수 있다. 다시 말해, 교재는 이런 질문들을 던짐으로서 독자들이 그 질문의 답에 대해 생각하고 궁금해 하도록 하는 한편, 교재가 어떤 핵심 주제로 앞으로의 내용을 전개시킬지 알려주고 있다.

또한, Cooper 일반물리학 교재는 앞서 의문이나 궁금증을 불러일으키는 방식과 유사하게, 독자들의 사고를 장려하고 그들이 배운 물리학 지식에 대해 따져보며 학습할 수 있도록 질문을 던지기도 한다.

The electron cannot stand still without support; it would fall into the nucleus, just as a still earth would fall into the sun. But the electron can revolve about the nucleus—a charged solar system, an absurd analogue of the planetary solar system. Could nature be so economical? Could the world be so made that an unimaginative repetition on its atomic scale of the planetary solar system would be the basis of the atomic constitution of matter? (Cooper, 1992, p. 323)

위의 서술은 Cooper 일반물리학 교재에서 Rutherford의 원자 모형, 구체적으로 원자핵과 전자들로 구성된 원자가 어떤 형태로 존재해야하는지 설명하는 내용이다. 교재는 원자핵 주위를 전자가 돌고 있는 전하를 띤 태양계 같은 모델일 경우, 원자가 붕괴되지 않고 존재할 수 있음을 설명한다. 이것은 원자의 구성물인 원자핵과 전자의 존재 방식을 우리가 흔히 알고 있는 태양계의 모습과 유사하게 보는 것이다. 이어서 교재는 이러한 결론에 대해 독자들에게 질문을 던진다. 자연이 그렇게 경제적(economical)일까? 세계가 정말로 원자의 구성의 기반이 그 태양계 행성 모델을 그대로 원자 사이즈로 줄여놓은 것과 같이 아무런 상상력도 없는 반복적인 형태로 만들어졌을까? 이

런 질문들은 독자들이 다시금 자신의 생각을 돌아보게 만든다. 알고 있는 것을 바탕으로 새로운 것을 이해하고자 하는 것이 자연스러운 방법이었는데, 그 방법에 대해 의문을 던진다. 따라서 이를 통해 독자들은 다시 한 번 자신의 생각을 점검하고, 또한 교재가 설명하고 있던 내용에 대해 다시 한 번 돌아보고 따져볼 수 있게 된다.

이와 같이 보인 예시들 외에도 Cooper 일반물리학 교재의 원자의 구조 단원의 본문에서는 독자들에게 던지는 질문들을 많이 활용하고 있다. 이러한 질문들은 단순히 설명을 매끄럽게 하기 위해 자문자답하는 그런 질문이 아니다. 교재는 질문을 통해 독자들이 무엇을 생각해야 할지 안내한다. 그리고 질문에 대해 독자들이 생각하게 만든다. 배운 것들을 다시 돌아보고 따져볼 수 있도록 만든다. Cooper 일반물리학 교재는 적극적으로 질문을 활용하여 독자들이 교재를 읽으면서 단지 정보를 얻고 머릿속에 기억하기만을 바라는 것이 아니라 능동적이고 적극적인 사고를 할 수 있도록 안내하는 것처럼 보인다.

저자가 독자들과 대화하고자 하는 듯한 Cooper 일반물리학 교재의 본문 내용 서술은 마치 하나의 수업을 진행하는 듯한 느낌이 들게 한다. 여기서 말하는 수업은 단순히 학생들에게 물리학 지식을 전달하는 행위를 의미하는 것이 아니라 교사와 학생들 간의 상호작용 속에서 물리학 주제에 대한 배움이 일어나는 실천 자체를 의미한다. Cooper 일반물리학 교재는 본문 내용의 서술을 통해 독자들을 '원자의 구조'라는 핵심적인 주제로 초대하고, 중요한 질문들을 던짐으로써 학생들이 끊임없이 생각하게 하고 따져보게 한다. 그리고 그러한 독자의 적극적인 사고 활동 속에서 저자가 소개하고 설명하는 물리학 지식들을 이해해 나갈 수 있도록 하는 것이다.

이렇게 마치 교재가 하나의 수업과 같이 내용을 서술해나가는 특징은 몇 가지 표현들이나 혹은 내용 전개 방식에서 살펴볼 수 있다. 예를 들어 Thomson의 전자에 대한 이해과정을 전개하는 가운데 다음과 같은 표현을 발

견할 수 있다.

He obtained in the end a ratio of the mass to the charge of his postulated particles of g/coulomb. ... It now became a very important question to learn either the charge or the mass of these particles separately. (Cooper, 1992, pp.312-313)

위의 내용은 Thomson이 전자의 질량과 전하량의 비율을 알게 된 후에 다음 과정으로서 질량과 전하량 각각의 값을 찾는 것이 중요한 질문이었음을 설명하는 내용이다. 전자의 전하량과 질량의 값을 각각 알아야 함이 중요한 단계였음을 설명하는 문장에서 '이제(now)'라는 표현을 사용한다. 이것은 마치 수업에서 교사가 학생들에게 "자! 이제 다음으로 해결해야 할 문제는 전자의 질량과 전하량을 따로 따로 알아내는 것이야" 라고 말하는 것과 같아 보인다. Cooper 일반물리학 교재는 물리학 지식이나 내용을 건조한 문체로 단순히 전달하기 보다는 위와 같이 독자들에게 직접 '말하는' 듯한 문체로 독자와 대화하고자 하는 교재의 모습을 보이고 있다.

2) 저자만의 독특한 표현들

Cooper 일반물리학 교재의 본문 내용 서술에서 드러나는 또 다른 특징은 다른 물리학 교재에서 찾아보기 힘든 Cooper 일반물리학 교재만의 표현들에 있다. 먼저, Cooper 일반물리학 교재에서 물리학의 탐구 대상이 되는 자연 혹은 자연현상에 대해서 다음과 같은 표현들을 주로 발견할 수 있다.

There was evidence which, in retrospect, enables us to see that all was not well. (Cooper, 1992, p.301)

An immediate and obvious use of this observation permits one to analyze complicated chemical species into their constitute elements. (Cooper, 1992, p.305)

Such results, plus the obvious fact that electricity could be obtained from matter by rubbing, that charged particles, like cathode rays, were emitted from matter under the proper circumstances, led to a belief, almost universally accepted at the turn of the century, in the electrical constitution of matter. (Cooper, 1992, p.314)

"In fact, it permitted a far-reaching distinction between such atomic properties as are wholly determined by the total charge and mass of the nucleus and those which depend directly on its internal constitution." (Cooper, 1992, p.322)

This collection of facts, interpreted via existing theory, seemed to - lead to a dead end at every turn. (Cooper, 1992, p.324)

위의 표현들을 보면 교재는 자연이나 혹은 자연현상에 대해 물리학자들이 그것들을 알게 되었다거나 혹은 그것들을 밝혀냈다는 표현보다는 오히려 자연이 우리에게 어떤 이해나 앞으로 이끌었다거나 혹은 우리에게 허락했다는 식의 표현을 사용하고 있음을 볼 수 있다.

또한 이 외에 교재가 학생들에게 더 의미를 잘 전달하기 위해 상당히 심사숙고하여 단어를 선택한 것으로 보이는 것들도 발견할 수 있다.

These somethings were christened cathode rays. (Cooper, 1992, p.309)

This carrier of electricity, the active constituent of the cathode rays, was eventually christened the electron, the first twentieth-century elementary particle. (Cooper, 1992, p.312)

교재는 음극선(cathode rays)이나 전자(electron)의 이름이 붙여지는 것에 대한 표현으로 흔히 사용되는 표현인 "name" 이나 혹은 "called" 등의 단어를 사용하지 않고 "christen"이라는 단어를 사용하고 있다. 여기서 사용된 "christen" 이란 단어는 기존의 "name" 등과 동일하게 "이름을 주다"라는 뜻을 가지고 있지만, 좀 더 나아가 "이름을 받는 대상의 중요한 특징을 반영하여 이름을 주다"라는 의미를 가지고 있다. 일반물리학 교재에서 발견할 수 있는 또 다른 표현의 특징은, 교재가 의미를 잘 전달하기 위해 비유적 표현들을 잘 사용한다는 것이다. 앞선 논의에서 교재가 물리학을 화가가 그림을 그리는 것에 비유하기도 하고 또는 태피스트리(tapestry)에 비유하여 물리학과 자연과의 관계 또는 물리학의 의미를 독자들에게 전달하고자 함을 확인할 수 있었다. 이 외에도 교재가 내용을 전개하는 가운데 독자들에게 의미를 잘 전달하기 위해 적절한 비유들을 사용하고 있음을 찾아볼 수 있다.

In retrospect, one is able to see much; but for those in the middle of events, it was like one of those puzzles where by moving squares one is required to arrange the numbers in an order, from 1 to 15; one finds that the first thirteen fall easily into place, but the last one or two cannot be made to fit properly. Yet, one would rather endlessly and hopelessly manipulate the last two rather than go back to the beginning and admit that it is another order, right from the beginning, which will fit all the numbers into their place. (Cooper, 1992, p.301)

세기로 접어드는 길목에서 물리학의 큰 그림이 변화됨을 암시하는 내용을 전개하는 가운데 교재는 위와 같이 퍼즐 게임에 비유하여 그러한 물리학의 변동에 대해 설명하고자 한다. Cooper 일반물리학 교재는 우리가 숫자의 순서를 배열하는 퍼즐 게임에서 마지막 한두개의 순서를 맞추기 쉽지 않은 경우 그것들만을 어떻게든 잘 조작해서 퍼즐을 완성할 수 있기를 기대하기도 하지만, 오히려 처음으로 돌아가 다시 올바른 순서로 맞춰야 할 때가 많다고 말한다. 교재는 이러한 비유를 통해 물리학에서도 이와 같이 처음으로 돌아가 새로 시작해야 하는 상황이 발생한다는 것을 암시하고 있다. 일반물리학 교재에서 보이는 또 다른 비유적 표현은 Rutherford의 원자 모형과 관련한 내용에서 찾을 수 있다.

This collection of facts, interpreted via existing theory, seemed to - lead to a dead end at every turn. One might say, in retrospect, that Rutherford's atom was the ultimate application of purely classical principles in the atomic domain. As though he had opened the seventh seal, there was a silence... and the angels were given seven trumpets... (Cooper, 1992, p. 324)

위의 서술에서 교재는 Rutherford의 원자 모형이 고전 물리학의 최종적인 적용이며, 그 이후로는 순수한 고전 물리학의 시대가 지나갔다는 의미를 전달하기 위해 7개의 봉인과 7개의 나팔에 대한 비유를 사용한다. 이와 같은 비유는 성경의 요한계시록의 내용을 활용하여 비유한 것으로, 7개의 봉인이 열리고 잠시의 고요 후에 다시 7개의 나팔이 불어진다는 것은 하나의 양상이 지나가고 새로운 양상이 시작된다는 것을 의미한다. 이와 같은 비유는 크리스트교의 배경이 없는 독자라면 알아보기 힘든 비유일 수 있지만, Cooper 일반물리학 교재가 크리스트교가 문화적 배경을 형성하는 미국에서 출판된 교재임

을 생각한다면 충분히 의미를 전달할 수 있는 비유로 보인다.

IV. Cooper 일반물리학 교재 ‘원자의 구조’ 내용 구성의 특징

본 장에서는, Cooper 일반물리학 교재의 특징을 파악하기 위한 두 번째 단계로서 교재의 '원자의 구조' 단원의 내용 구성과 그 흐름을 살펴보았다. 구체적으로 먼저 교재의 전체 구성을 살펴보고 그러한 구성 안에서 '원자의 구조' 단원이 어떻게 위치하고 있는지 살펴보았다. 그리고 다시 '원자의 구조' 단원 자체에 초점을 맞추어 원자의 구조와 관련된 내용들이 어떤 내용 요소들을 통해 어떻게 전개되고 있는지를 면밀히 살펴보려고 하였다. 특히 본 연구에서는 일반적으로 많이 쓰이고 있는 Halliday & Resnick 일반물리학 교재를 함께 살펴보고 비교 분석하여, Cooper 일반물리학 교재의 내용 구성의 특징을 더욱 명확히 파악하고자 하였다. 이에 본 연구에서는 먼저 교재의 '원자의 구조' 내용이 어떤 식으로 전개되고 있는지를 있는 그대로 보여준 후, 이와 같은 내용 들을 Klassen (2010)이 제안한 이야기 구조(story-structure) 모델을 활용하여 분석함으로써, 각 일반물리학 교재들의 원자의 구조 내용 구성의 특징들을 파악하고자 하였다.

1. 연구 방법

과학교육을 비롯한 많은 교육 연구들에서는 이야기 구조가 교수-학습에 도움이 됨을 강조해 왔다 (Egan, 1986; Stinner, 1992; Metz et al., 2007; Klassen, 2009; Klassen, 2010; 등). 특히 Noddings & Witherall (1991)은 수업에서 이야기를 도입해야 하는 이유에 대해 다음과 같이 강조한 바 있다.

we learn from stories. More important, we come to understand - ourselves, others, and even the subjects we teach and learn. Stories engage us. ... Stories can help us to understand by making the abstract concrete and accessible. (Noddings & Witherall, 1991, p.279-280)

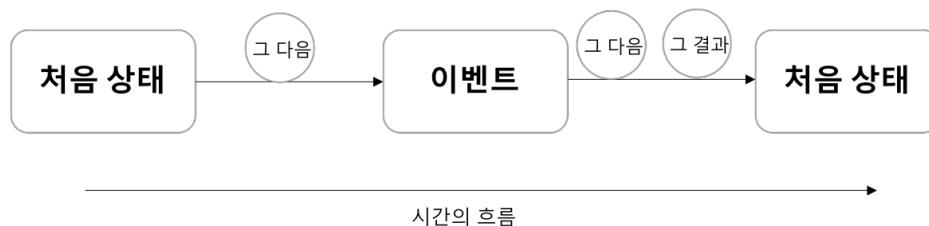
과학교육에 있어서, 특히 과학 교재나 교과서 등과 관련하여도 최근 이와 같은 이야기 구조의 중요성이 지적 되어온 바 있다. 예를 들어 Avraamidou & Osborne (2009)은 과학 교재/교과서는 설명적인 형태의 텍스트이면서, 한편으로는 내러티브적인(narrative) 과학 텍스트이기도 함을 주장하였다. 대부분의 과학 교재의 저자들이 과학 대한 이야기들을 그들의 교재에 수록한다. 그리고 이와 같이 교재에 수록된 이야기들은 과학적 지식을 포함할 뿐 아니라 풍성한 과학사적 에피소드들도 수록하는 경우가 많다. 특히 이러한 내용들은 일종의 내러티브 형식이라 할 수 있는 이야기 형태로 서술되는 경우가 많다. 이런 점에서 보았을 때, 내러티브적인 접근, 구체적으로 이야기 구조를 통해 물리학 교재의 내용 구성을 들여다보는 것은 적절한 접근이 될 수 있을 것이다.

이에 본 연구에서는 Cooper 일반물리학 교재 및 Halliday 일반물리학 교재의 '원자의 구조' 내용의 구성을 분석하고 그 특징을 알아보기 위해 교재 본문의 이야기 구조를 분석하고자 하였다. 이를 위해 본 연구에서는 Prince (1973)가 제안했던 이야기 구조 모형을 Klassen (2010)이 과학교육에서의 이야기 구조 논의를 위해 확장시킨 구조 모형을 사용하여 교재 본문의 내용을 분석하였다. 이와 같은 모형을 Prince는 '최소 이야기 모형'(minimal story)이라 하였으며 다음과 같이 설명하고 있다.

[a] minimal story consists of three conjoined events. The first and third events are stative, the second active. Furthermore, the third event is the

inverse of the first. Finally, the three events are conjoined ... In such a way that (a) the first event precedes the second in time and the second precedes the third, and (b) the second event causes the third. (Prince 1973, p.31)

Klassen (2010)은 이와 같은 이야기 구조 모형을 과학사 및 과학교육적인 관점에서 확장시켜 이해하고 활용하였다. 그는 먼저 처음과 세 번째의 이벤트(event)를 상태(state)라는 용어로 변경하였다. 그리고 기존의 Prince의 이론에서는 처음 상태와 이벤트 후의 나중 상태가 서로 완벽하게 반대되는 성질을 가져야만 하였지만, Klassen 은 이러한 부분도 확장시켜 처음 상태와 나중 상태가 이벤트를 사이에 두고 어떤 변화로 관계 맺을 수 있다면 그것 역시 이야기 구조로 볼 수 있다고 하였다 (Klassen, 2010, p.309). 다음 그림 IV-1은 Klassen 이 제안한 최소 이야기 구조 모형의 그림이다.



[그림 IV-1] 최소 이야기 구조 모형 (Klassen, 2010)

본 연구에서는 이와 같은 이야기 구조 모형을 활용하여 Cooper 일반물리학 교재와 Halliday 일반물리학 교재가 어떤 내용 구성을 가지고 있는지 분석하고 그 모습을 살펴보고자 하였다.

한편, 위와 같은 이야기 구조 모형만으로는 물리학 교재 내용의 작은 이야기 단위들을 보여줄 수는 있지만 그것들을 거시적 관점에서 큰 흐름으로 파악하게 하기엔 어려움이 있다. 따라서 분석된 이야기 구조들을 거시적 관점에

서 큰 흐름으로 파악할 수 있도록 하는 또 다른 분석의 기준이 필요하였다. 본 연구에서는 Klassen (2014)이 제안한 더 큰 이야기 단위인 플롯(plot)을 설정하고 이야기 덩어리들을 묶어 거시적인 관점에서도 본문의 내용 구성의 특징을 알아보고자 하였다. 이러한 플롯 구조는 주인공(main character)과 상황(situation) 등의 요소들을 바탕으로 두고 있으며 크게 도입(introduction), 절정(climax), 해소(resolution)라는 3단계로 구성되어 있다.

[표 IV-1] 플롯 구조 (Klassen, 2014)

도입(Introduction)	절정(Climax)	해소(Resolution)
갈등의 시작	갈등의 최대화 및 행동들	갈등의 해결
주인공, 상황, 과거, 과학의 본성 (NOS)		
*결과의 일관성: 갈등(도입)의 배경과 행동(절정)의 이유, 그리고 결론(해소)의 합당함에 대해 보이는 것이 필요하다		

본 장에서는 먼저 Cooper 일반물리학 교재와 Halliday 일반물리학 교재의 전체 내용 구성을 살펴본 후, 각 교재들이 원자의 구조 내용을 어떻게 전개하고 있는지 분석하였다. 이를 통해 각 일반물리학 교재의 내용 구성이 위의 이야기 구조 모형 및 플롯 구조로 분석할 때 어떤 특징이 드러나는지 살펴보고자 하였다.

2. 연구 결과 1: Halliday 일반물리학 교재

2.1. Halliday 일반물리학 교재의 전체 내용 구성

Halliday 일반물리학 교재의 전체적인 내용 구성은 다음과 같다.

[표 IV-2] Halliday & Resnick 일반물리학 교재의 목차

VOLUME 1

1. Measurement
2. Motion Along a Straight Line
3. Vectors
4. Motion in Two and Three Dimensions
5. Force and Motion - I
6. Force and Motion - II
7. Kinetic Energy and Work
8. Potential Energy and Conservation of Energy
9. Center of Mass and Linear Momentum
10. Rotation
11. Rolling, Torque, and Angular Momentum
12. Equilibrium and Elasticity
13. Gravitation
14. Fluids
15. Oscillations
16. Waves - I
17. Waves - II
18. Temperature, Heat and the First Law of Thermodynamics
19. The Kinetic Theory of Gases
20. Entropy and the Second Law of Thermodynamics

VOLUME 2

21. Coulomb's Law
22. Electric Fields
23. Gauss' Law
24. Electric Potential
25. Capacitance
26. Current and Resistance
27. Circuits
28. Magnetic Fields
29. Magnetic Fields Due to Currents
30. Induction and Inductance
31. Electromagnetic Oscillations and Alternating Current
32. Maxwell's Equation; Magnetism Matter
33. Electromagnetic Waves
34. Images
35. Interference
36. Diffraction
37. Relativity
38. Photons and Matter Waves
39. More About Matter Waves
40. All About Atoms
41. Conduction of Electricity in Solids
42. Nuclear Physics
43. Energy from the Nucleus
44. Quarks, Leptons, and the Big Bang

위의 표 IV-2에서 보인 바와 같이, Halliday 일반물리학 교재는 크게

2개의 Volume으로 나누어져 구성되어 있다. Volume 1은 대체적으로 역학 및 열역학에, Volume 2는 전자기학, 광학 및 상대성 이론과 양자역학 등의 현대물리학 내용으로 구성되어 있다. 그 흐름을 살펴보면, Halliday 일반물리학 교재는 전체적으로 특정한 물리적 상황들을 주제 삼아 관련된 단위들을 나열하는 방식으로 내용을 전개시키고 있다. 구체적으로, 교재는 먼저 운동에 대한 주제로 시작하는데 처음에는 1차원 직선상에서의 운동에서 시작하여 2차원, 3차원의 운동에 대한 내용으로 확장시켜 나간다. 그 다음으로 운동에 영향을 주는 힘에 대한 내용을 다루며, 이어서 에너지와 일, 운동량 등에 대한 내용을 다룬다. 이러한 내용 후에 직선적인 운동에서 벗어나 회전 운동에 대한 내용, 즉 회전, 토크, 각운동량 등에 대한 개념들이 전개된다. 그리고 그 이외의 다양한 역학적 현상인 탄성, 중력, 유체, 진동, 그리고 역학적 파동에 대한 내용들이 이어진다. 이와 같은 운동과 관련된 내용들이 지나면 열과 온도, 열에너지 및 엔트로피 등의 개념들과 함께 열역학 내용이 전개된다. 이후 교재는 Volume 2로 넘어가 새로운 자연 현상인 전기와 자기에 대한 내용을 시작한다. Volume 2에서 Halliday 일반물리학 교재는 먼저 전기 현상에 대한 내용들을 다루면서 쿨롱 법칙(Coulomb's Law), 전기장, 가우스 법칙(Gauss' Law) 등의 내용들을 정전기(electrostatics) 상황에서 설명한다. 이후 축전기, 전류 및 저항 등의 개념들을 소개한 후 전기 회로에 대한 내용을 다룬다. 그리고 자석 및 전류에 의해 생성되는 자기장에 대한 내용이 이어 소개되고, 이러한 개념을 바탕으로 전자기 유도 및 인덕턴스(inductance) 등의 내용을 다룬다. 그리고 전기 및 자기의 내용을 종합하여 맥스웰 방정식(Maxwell's Equation)으로 정리하고 전자기파의 내용까지 전개한다. 전자기학에 관련한 내용 이후에 Halliday 일반물리학 교재는 상(image), 간섭(interference), 회절(diffraction)의 내용을 통해 광학 내용을 다룬다. 끝으로 교재의

후반부에서는 상대성 이론, 양자역학, 원자 및 핵 물리학, 고체 물리학 등의 내용이 전개되며, 마지막은 쿼크(quark)나 렙톤(lepton) 같은 소립자와 빅뱅 이론 등으로 마무리를 짓는다.

이와 같이 Halliday 물리학 교재가 물리학의 내용들을 전개시키는 내용 구성을 살펴보면, Halliday 일반물리학 교재는 다양한 자연현상에 대한 내용들을 매우 풍부하게 다루고 있음을 알 수 있다. 마치 우리의 일상에서 발견하는 운동 현상부터 미시 세계의 현상이나 우주적인 현상까지, 우리가 살고 있는 자연세계의 모든 현상에 대해 설명하는 물리학 내용을 학생들에게 가르치고 전달하려는 듯한 구성이다. 특히 Halliday 일반물리학 교재는 기본적인 물리 법칙을 시작으로 하여 매우 단순한 상황부터 점점 복잡한 상황까지 다루는 식으로 구성이 되어 있다. 우리가 경험할 수 있는 다양한 현상들에 대해 하나하나 다뤄나가기 때문에 마치 물리학 내용 지식에 대한 백과사전처럼 보이는 특징이 있다.

한편, Halliday 일반물리학 교재의 전체 내용 구성에서 발견할 수 있는 또 하나의 특징은 본격적인 물리학 내용 지식들을 다루기 전에 측정 및 물리량의 단위, 그리고 벡터(vector) 계산법과 같은 기초를 내용 구성의 초반에 다루고 있다는 것이다. 교재의 1장에서는 우리가 직접적으로 측정할 수 있는 대표적인 물리량 3가지, 즉 길이, 시간, 질량의 정의와 그 측정 방법 그리고 그것의 단위에 대해서 다룬다. 그리고 3장에서는 크기와 방향을 동시에 고려해야 하는 물리량을 표현하고 다루는 방법으로서 벡터(vector)를 설명하고 벡터들을 연산하는 법에 대해 다루고 있다.

이와 같이 Halliday 일반물리학 교재의 목차를 통해 그 전체 내용 구성의 특징을 정리하자면, 다양한 자연현상에 대해 설명하는 물리학 지식들을 펼쳐놓은, 마치 물리학 백과사전과 같은 방식의 구성을 취하고 있는 교재처럼 보인다.

2.2. Halliday 일반물리학 교재의 ‘원자의 구조’ 내용 구성

먼저 Halliday & Resnick (2013) 일반물리학 교재(이하 Halliday 일반물리학 교재)가 원자의 구조 내용을 어떻게 전개하는지 살펴보았다. 다음 표 IV-3는 Halliday 일반물리학 교재의 내용 중 원자의 구조 내용과 관련된 단원들을 정리해놓은 것이다.

[표 IV-3] Halliday & Resnick 일반물리학 교재의 원자의 구조 관련 내용

CH.28 Magnetic Fields
28-2 CROSSED FIELDS: DISCOVERY OF THE ELECTRON
Crossed Fields: Discovery of the Electron
CH.39 More About Matter Waves
39-5 THE HYDROGEN ATOM
The Bohr Model of Hydrogen, a Lucky Break
CH.42 Nuclear Physics
42-1 DISCOVERING THE NUCLEUS
Discovering the Nucleus

원자의 구조 내용과 관련하여 살펴보면 Halliday 일반물리학 교재는 원자의 구조 단원을 독립적으로 가지고 있지는 않았다. 그 대신, 위의 표에서 확인할 수 있듯이 자기장이나 혹은 양자역학 등 물리학 이론이나 개념을 설명하는 장에서 설명하는 물리학 지식과 관련된 원자 이슈를 소개하고 있다.

구체적으로 살펴보면, Thomson의 음극선 실험과 전자의 발견의 내용은 28장 자기장(magnetic field) 내용에 수록되어 있다. 28장의 2절의 내용은 전기

장과 자기장이 서로 수직방향으로 직교하여 펼쳐질 때, 그 안에서의 전하를 띤 입자는 그 입자의 전하량과는 상관없이 전기장과 자기장의 세기에 의해 결정된 속력으로 직선운동을 한다는 내용이다. 교재의 저자는 이렇게 서로 직교하는 두 장(field)에 대한 이야기를 시작하며 이와 같은 실험이 Thomson의 전자발견과 관련 있다고 이야기한다.

Both an electric field and a magnetic field can produce a force on a charged particle. When the two fields are perpendicular to each other, they are said to be crossed fields. Here we shall examine what happens to charged particles - namely, electrons - as they move through crossed fields. We use as our example the experiment that led to the discovery of the electron in 1897 by J. J. Thomson at Cambridge University. (Halliday & Resnick, 2013, p. 809)

이어서 교재는 Thomson이 수행했던 음극선 실험 장치 - 음극선 튜브(a cathode ray tube) - 에 대한 간략한 그림을 소개하고 그 안에서 전기장과 자기장을 걸어주었을 때 전하를 띤 입자가 어떻게 운동하는지, 그리고 그 속력은 어떻게 유도하여 계산할 수 있는지 보여준다. 그리고는 마지막으로 음극선 실험 장치에서 음극선이 굴절되는 정도를 통해 음극선을 이루는 입자(즉, 전자)의 전하-질량비를 구할 수 있음을 설명한다. 이어서 교재는 다시 다음과 같이 Thomson이 이를 통해 수소 원자보다도 가벼운 입자인 '전자(electron)'를 발견하게 되었다고 이야기한다.

Thomson claimed that these particles are found in all matter. He also claimed that they are lighter than the lightest known atom (hydrogen) by a factor of more than 1000. (The exact ratio proved later to be 1836.15).

His measurement, coupled with the boldness of his two claims, is considered to be the “discovery of the electron” (Halliday & Resnick, 2013, p. 810)

그러나 이와 같은 내용에서는 Thomson이 전자를 발견하게 된 것이 간단하게 언급되어 있을 뿐이며, Thomson이 생각했던 원자에 대한 고민이나 원자의 구조 등에 대한 이야기는 다루지지 않았다.

교재에서 다음으로 등장하는 원자의 구조 내용은 Bohr의 원자이다. 교재의 38장에는 먼저 양자역학의 기초적인 개념으로서 빛의 입자성, 양자 개념, 그리고 물질의 파동성을 설명한다. 그리고 이어 39장에서 보통 양자역학 초반에 다루지는 에너지 퍼텐셜에 갇힌 전자의 에너지를 설명하는 내용이 이어진다. 또한, 수소원자가 일종의 전자를 가두는 에너지 퍼텐셜임을 밝히고, 원자에서의 양자개념이 어떻게 등장하게 되었는지를 살펴보기 위해 역사적 배경을 확인하겠다고 말한다.

The Hydrogen Atom is an Electron Trap

... We have now discussed at length that confinement of an electron means that the electron's energy is quantized and thus so is any change in its energy. In this module we want to calculate the quantized energies of the electron confined to a hydrogen atom. We shall, in principle at least, apply Schrödinger's equation to the trap, to find those energies and the associated wave functions. However, at the discretion of your instructor, let's take an historical aside to examine how the quantizing of atoms began, back when quantization was a revolutionary concept. (Halliday & Resnick, 2013, p. 1202)

The Bohr Model of Hydrogen, a Lucky Break

By the early 1900s, scientists understood that matter came in tiny pieces called atoms and that an atom of hydrogen contained positive charge at its center and negative charge (an electron) outside that center. However, no one understood why the electrical attraction between the electron and the positive charge did not simply cause the two to collapse together. (Halliday & Resnick, 2013, p. 1203)

교재는 Bohr의 모델의 내용을 전개하기에 앞서 1900년대 초의 상황에 대해 간략하게 설명한다. 그것은 원자핵과 전자라는 전기적 구성물로 이루어진 원자가 구성물들 서로의 인력에 의해 붕괴되지 않는 것을 이해하지 못하는 문제였다. 곧이어 이 문제를 해결하기 위한 단서로서, 수소 원자의 선 스펙트럼에 대한 내용을 소개하고 뒤이어 Bohr의 원자 가설을 소개한다.

Visible Wavelengths. One clue lay in the experimental fact that a hydrogen atom can emit and absorb only four wavelengths in the visible spectrum (656 nm, 486 nm, 434 nm, and 410 nm). Why did it not emit all wavelengths as, say, a hot blackbody radiator? In 1913, Niels Bohr had a remarkable idea that simultaneously explained not only the four visible wavelengths but also why the atom did it turned out to be quite wrong in almost every other aspect of the atom and led to very little success in explaining atoms more complicated than hydrogen. Nevertheless, the Bohr model is historically important because it ushered in the quantum physics of atoms.

Assumptions. To build his model, Bohr made two bold (completely unjustified) assumptions: (1) The electron in a hydrogen atom orbits the

nucleus in a circle much like Earth orbits the Sun (Fig. 39-16a). (2) The magnitude of the angular momentum of the electron in its orbit is restricted (quantized) to the values,

$$L = n\hbar, \quad \text{for } n = 1, 2, 3, \dots, \quad (39-23)$$

where \hbar is and is a positive integer (a quantum number) We are going to follow Bohr's relatively simple arguments to get an equation for the quantized energies of the hydrogen atom, but let's be explicit here: The electron is not simply a particle in a planetary orbit and Eq. 39-23 does not correctly give the angular momentum values. (Halliday & Resnick, 2013, p.1203)

위와 같이 교재는 Bohr가 수소 원자의 선 스펙트럼 및 원자에 대해 설명할 수 있는 아이디어를 제안했다고 밝히고 있다. 특히 교재는 이러한 Bohr의 아이디어가 나중에는 오류가 있으며, 수소 이외의 복잡한 원자를 설명하기엔 부족함이 많긴 하지만, Bohr의 생각이 원자에서의 양자물리학을 열게 된 역사적 중요성을 가진 것이라고 강조한다. 그리고 이어서 Bohr의 수소 원자에 대한 가설이 소개된다. 여기서 저자는 Bohr의 수소 원자 가설에서 표현되는 '원자핵 주위를 돌고 있는 전자의 궤도' 라던가 '각운동량(angular momentum)' 등의 용어에 대해 고전역학에서 이해하는 방식으로 이해하면 안 된다는 것을 강조하고 있다. 이처럼 Bohr의 원자 가설에 대해 소개한 후, 교재는 원자핵 주위에서 원운동 하고 있는 전자의 에너지와 운동량 등을 계산하는 예시를 보여주고, 이의 결과를 통해 Bohr radius라 불리우는 값을 도출해내며 Bohr의 원자와 관련된 내용을 마무리 짓는다.

마지막으로 Rutherford의 원자와 관련된 내용은 핵물리학 내용을 다루는 42장에 등장한다. 핵물리학의 내용은 원자핵에 관한 내용이며, 따라서 이 장의 가장 첫 부분은 원자핵이 어떻게 발견되었는가에 대한 내용인 Rutherford

의 실험과 그의 아이디어를 다루고 있다. Thomson의 전자 발견이나 Bohr의 수소 원자에 대한 설명들과는 다르게, Halliday 일반물리학 교재에 서술된 Rutherford의 원자핵 발견 내용에는 처음부터 역사적 배경과 그 과정도 어느 정도 상세히 다뤄지고 있다.

Discovering the Nucleus

In the first years of the 20th century, not much was known about the structure of atoms beyond the fact that they contain electrons. The electron had been discovered (by J. J. Thomson) in 1897, and its mass was unknown in those early days. Thus, it was not possible even to say how many negatively charged electrons a given atom contained. Scientists reasoned that because atoms were electrically neutral, they must also contain some positive charge, but nobody knew what form this compensating positive charge took. One popular model was that the positive and negative charges were spread uniformly in a sphere.¹⁹¹¹ Ernest Rutherford proposed that the positive charge of the atom is densely concentrated at the center of the atom, forming its **nucleus**, and that, furthermore, the nucleus is responsible for most of the mass of the atom. Rutherford's proposal was no mere conjecture but was based firmly on the results of an experiment suggested by him and carried out by his collaborators, Hans Geiger (of Geiger counter fame) and Ernest Marsden, a 20-year-old student who had not yet earned his bachelor's degree. (Halliday & Resnick, 2013, p.1276)

교재에는 먼저 20세기 초반, Thomson에 의해 전자가 발견되면서 과학자들이 원자 내부에 전자가 있음을 알고 있었지만 전자 및 양전하들의 분포가 어떻게 되는지 알지 못하고 있다 서술하고 있다. 그리고 곧바로 1911년

Rutherford가 양전하들과 질량들이 집중되어 있는 원자핵 아이디어를 제안했다고 설명한다. 교재는 이러한 Rutherford의 원자에 대한 제안이 단순한 추정이 아니며 명백히 실험 결과에 기반한 아이디어라고 강조한다. 그리고 그가 기반에 둔 실험인, 우리가 잘 알고 있는 α 입자 산란 실험에 대해 설명한다.

여기서 특징적인 것은, 음극선 실험으로 전자를 발견했다고 비교적 간략히 언급된 Thomson에 관한 내용이나, 수소 원자에 대한 가정과 그에 대한 계산에 집중된 Bohr에 관한 내용과는 다르게, Rutherford의 α 입자 산란 실험에 대한 내용은 그 배경과 실험 과정, 결과, 그리고 이에 대한 Rutherford의 당시 반응과 그 의미 등이 상대적으로 자세히 설명되어 있다는 것이다.

In Rutherford's day it was known that certain elements, called radioactive, transform into other elements spontaneously, emitting particles in the process. One such element is radon, which emits alpha (α) particles that have an energy of about 5.5 MeV. We now know that these particles are helium nuclei. ...

... In Rutherford's words: "It was quite the most incredible event that ever happened to me in my life. It was almost as incredible as if you had fired a 15-inch shell at a piece of tissue paper and it [the shell] came back and hit you." "was Rutherford so surprised? At the time of these experiments, most physicists believed in the so-called plum pudding model of the atom, which had been advanced by J. J. Thomson. In this view the positive charge of the atom was thought to be spread out through the entire volume of the atom. The electrons (the "plums") were thought to vibrate about fixed points within this sphere of positive charge (the "pudding"). ...

... Rutherford saw that, to deflect the alpha particle backward, there must be a large force; this force could be provided if the positive charge, instead of being spread throughout the atom, were concentrated tightly at

its center. Then the incoming alpha particle could get very close to the positive charge without penetrating it; such a close encounter would result in a large deflecting force. (Halliday & Resnick, 2013, p.1277)

위의 인용된 교재의 본문 내용을 살펴보면, 먼저 Rutherford 당시에 방사성 원소를 이용하여 입자들을 - 대표적으로 α 입자 - 방출하는 실험이 잘 알려져 있었다라는 배경을 소개하고, 간략하게 Rutherford가 구상한 α 입자 산란실험에 대해 설명한다. 그리고 실험 결과와 관련하여 "마치 15인치짜리 대포를 휴지에 쏘았는데 도로 튕겨 나온 것과 같았다"라는 Rutherford의 유명한 발언을 인용하며 α 입자 산란 실험의 결과가 Rutherford에게 어떤 의미를 가진 것이었는지, 그리고 Rutherford가 어떤 해석과 결론에 이르게 되었는지 - 즉, 원자핵의 존재에 대한 결론 - 를 설명한다.

그러나 이와 같은 내용 이후에 Rutherford의 원자모형 등에 대한 내용은 다루이지 않고 있으며, 다음 내용으로 핵물리학의 용어들에 대한 내용들이 전개되고 있다.

2.3. Halliday 일반물리학 교재 ‘원자의 구조’ 내용의 플롯-이야기 구조

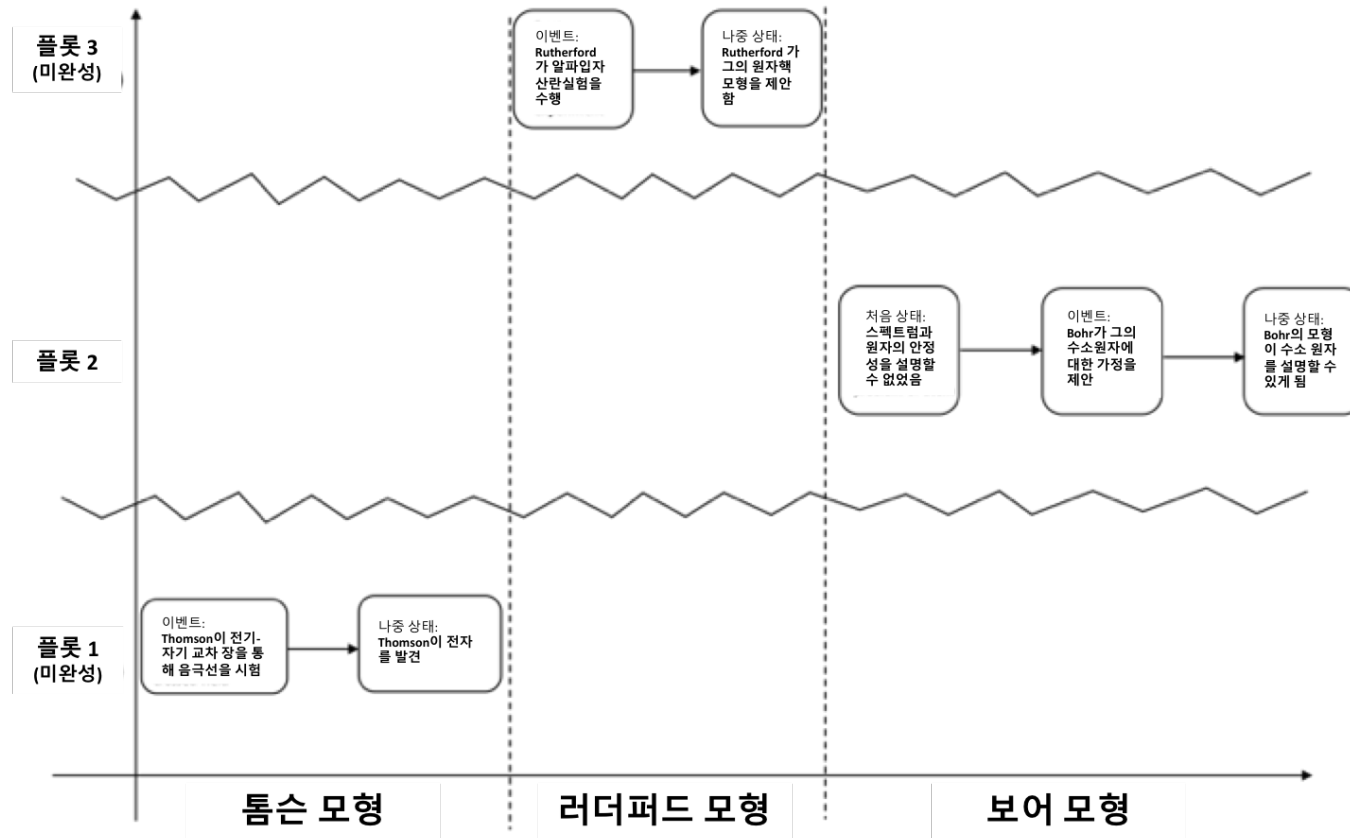
먼저 Halliday 일반물리학 교재의 경우, 앞서 보인바와 같이 원자의 구조 단원이 따로 할애되지 않고 Thomson, Rutherford, 및 Bohr의 원자 모형과 관련된 내용들이 교재의 곳곳에 분절되어 있다. 따라서 각각의 원자 모형과 관련된 내용들을 각각의 플롯으로 정하여, 다음과 같은 플롯 구조를 구성할 수 있다.

[표 IV-4] Halliday & Resnick 일반물리학 교재 원자의 구조 내용 플롯

플롯	도입	절정	해소
<p>플롯 1: Thomson이 전자를 발견하기 위해 교차된 장 실험을 사용하였다. (미완성)</p> <p>주인공: Thomson</p> <p>상황: 교차된 장 실험</p>	X	<p>[Thomson의 실험]</p> <p>Thomson이 교차된 장(전기장-자기장)을 통해 음극선을 시험하였다..</p>	<p>[전자 발견]</p> <p>Thomson이 전자를 발견하였다.</p>
<p>플롯 2: Bohr가 그의 수소 원자 모형을 제안</p> <p>주인공: Bohr</p> <p>상황: 수소 원자에 대한 설명이 필요</p>	<p>[수소 원자 문제]</p> <p>수소 원자에 대해 설명할 수 없었다.</p>	<p>[Bohr의 원자 모형]</p> <p>Bohr가 수소 원자에 대한 그의 양자 모형을 제안하였다.</p>	<p>[수소 원자 설명]</p> <p>Bohr의 모형으로 수소 원자를 설명할 수 있게 되었다.</p>
<p>플롯 3: Rutherford가 원자 핵을 발견 (미완성)</p> <p>주인공: Rutherford</p> <p>상황: Rutherford의 알파입자 산란 실험</p>	X	<p>[Rutherford의 실험]</p> <p>Rutherford가 알파입자 산란실험을 수행하였다.</p>	<p>[Rutherford의 원자모형]</p> <p>Rutherford가 그의 원자핵 모형을 제안하였다.</p>

또한 이러한 플롯 구조를 바탕으로 세부적인 이야기 구조를 분석하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

이와 같은 Halliday 일반물리학 교재의 플롯-이야기 구조를 살펴보면, 먼저 Halliday 일반물리학 교재는 분절된 3가지 플롯으로 원자의 구조와 관련된 내용을 전개하고 있음을 볼 수 있다. 첫 번째 플롯은 Thomson의 전자 발견과 관련된 이야기로 구성되어 있다. 위의 표에서 확인할 수 있듯, 이 플롯에서는 도입부가 따로 드러나지 않는다. 단지 Thomson이 음극선을 전기장과 자기장이 수직으로 겹쳐지는 곳에 통과시키는 실험을 수행하였고, 이를 통해 전자를 발견하게 되었다는 이야기가 주된 중심 내용이 되었다.



[그림 IV-2] Halliday & Resnick 일반물리학 교재 원자의 구조 내용 플롯-이야기 구조

따라서 이 플롯을 구성하는 이야기 구조를 살펴보면 처음 상태가 없이 Thomson의 실험이 이벤트로서 존재하고 그 결과로 전자를 발견했다고 하는 매우 단편적이고 완성되지 않은 구조의 이야기로 구성되어 있음을 알 수 있다. 두 번째 플롯은 Bohr의 모형과 관련된 내용이다. 이 플롯은 수소 원자에 대한 설명이 불가능한 사태에서 Bohr의 원자 모형의 제안을 통해 수소 원자를 설명할 수 있게 되었다는 내용으로 구성되어 있다. 이러한 플롯 안에서 이야기 구조 또한 플롯의 큰 흐름을 단순히 따라가는 방식으로, Bohr의 수소 원자 모형의 제안이 이벤트가 되어 수소 원자를 설명 못하는 상태에서 설명할 수 있는 상태가 되었다는 단편적인 이야기 구조를 가지고 있다. 마지막으로 세 번째 플롯은 Rutherford의 원자 모형과 관련된 내용이다. 이 플롯 역시 처음의 도입부가 드러나지 않은 채 Rutherford의 알파 입자 산란 실험이 결론적으로 원자핵을 발견했다는 내용을 다루고 있다. 이와 같은 플롯에서의 이야기 구조는 처음 상태가 주어지지 않은 채 Rutherford의 실험이라는 이벤트가 원자핵의 발견이라는 나중 상태로 연결되는 구조로 미완성적이면서도 매우 단편적인 구조를 보이고 있다.

이처럼 Halliday 일반물리학 교재가 원자의 구조와 관련된 내용을 구성하는 특징을 플롯-이야기 구조를 통해 확인한 결과 Halliday 일반물리학 교재는 원자의 구조 내용을 구성함에 있어서 상당히 분절적이고 잘 완성되지 않은 이야기 구조로 내용을 구성하고 있음을 확인할 수 있다. 특히 각 원자 모형들은 원자를 탐구하는 흐름에서 주어졌던 아이디어로 연결되어 구성되기 보다는 전자기장, 양자역학의 전형적인 문제 맥락에서, 그리고 핵물리학의 도입으로서 원자핵의 발견을 소개하기 위해 내용이 구성되었다. 이런 점에서 볼 때, Halliday 일반물리학 교재는 원자의 구조와 관련된 내용에 대해서 크게 중요성을 인식하지 않는 것으로 보이며, 원자에 대한 탐구와 이해의 흐름 맥락보다는 관련된 물리학 지식들을 가르치는 것에 훨씬 더 큰 무게를 두는 것을

볼 수 있다 (전자기장에서의 입자 움직임의 이해 혹은 양자역학에서의 포텐셜 우물의 이해 등).

3. 연구 결과 2: Cooper 일반물리학 교재

3.1. Cooper 일반물리학 교재의 전체 내용 구성

Cooper 일반물리학 교재의 경우, 그 목차를 통해 살펴본 전체 내용의 구성은 다음 표 IV-5와 같다.

[표 IV-5] Cooper 일반물리학 교재의 목차

ON THE PROBLEM OF MOTION
1. The Tower of Pisa
2. A Very New Science
3. What Is a Force?
4. "The Lion Is Known by His Claw"
5. The Music of the Spheres
6. Newton's System of the World
7. Particles in Collision
8. Mechanical Energy
9. Conservation of Energy (The First Law of Thermodynamics)
10. Heat Death (The Second Law of Thermodynamics)
11. The World as a Machine
 EXPERIENCE, ORDER, AND STRUCTURE
12. Experience and Order
13. The Language of Physics

THE NATURE OF LIGHT

- 14. The "Phenomena of Colours"
- 15. Waves
- 16. Light as a Wave

ELECTROMAGNETIC FORCES AND FIELDS

- 17. Electrostatic Forces: Charges at Rest
- 18. Magnetic Forces: Charges in Motion
- 19. Induction Forces: Charges and Changing Currents
- 20. Electromagnetic Theory
- 21. Electromagnetic Radiation

SPACE AND TIME REEXAMINED

- 22. Absolute Motion, Absolute Rest
- 23. The Michelson–Morley Experiment
- 24. The Principle of Relativity
- 25. The Union of Newton's Laws with the Principle of Relativity
- 26. The Twin Paradox
- 27. The General Theory of Relativity (Einstein's Theory of Gravitation)

STRUCTURE OF THE ATOM

- 28. Silver Threads
- 29. Discovery of the Electron
- 30. Rutherford's Nuclear Atom
- 31. Origins of the Quantum Theory

THE QUANTUM THEORY

- 32. The Electron as a Wave
- 33. Schrödinger's Equation: The Law of Motion for Quantum Systems
- 34. What Is the Associated Wave?
- 35. On the Consistency of the Quantum View
- 36. The Transition from the Quantum to the Classical View

THE QUANTUM WORLD

- 37. The Hydrogen Atom
- 38. Many-Particle Quantum Systems
- 39. The Atomic Nucleus
- 40. Dirac's Relativistic Electron

FIRST MATTER

- 41. What Is an Elementary Particle?
- 42. How Are They Seen?
- 43. How Are They Made?
- 44. What Holds the Nucleus Together?
- 45. Strange Particles
- 46. Charge, Internal Spin, and Strangeness
- 47. $\pi\rho\omega\pi\eta$ $\bar{u}\lambda\eta$

위의 표 IV-5를 통해 Cooper 일반물리학 교재의 목차 구성을 살펴보면, 기존에 일반적으로 강의에 사용되던 Halliday 일반물리학 교재와 그 구성이 상당히 다를 수 있다. Cooper 일반물리학 교재는 Halliday 일반물리학 교재와 비슷하게 총 47장으로 구성되어 있다. 그러나 Halliday 일반물리학

교재와 다른 점은 각 장들이 그저 나열되어 있기보다는 큰 대단원으로 묶여서 구성되어 있다는 것이다. 또한 Cooper 일반물리학 교재의 목차에서 보이는 또 다른 특징은, 각 장의 제목들이 일반물리학 교재라고 생각하기에 매우 독특한 편이라는 것이다. Halliday 일반물리학 교재의 경우 각 장의 제목들을 통해 그 장에서 다루는 중심 주제가 무엇인지 명확하게 알 수 있다. 반면에 Cooper 일반물리학 교재에서는 다루는 중심 내용을 비유적으로 설명하는 제목들이 많기에, 제목만 보아서는 어떤 주제로 내용이 다뤄질지 예상하기가 쉽지 않다. 이를 염두에 두고, Cooper 일반물리학 교재가 물리학의 전반적인 내용을 전개하는 구성을 살펴보면 다음과 같다. 일반물리학 교재는 총 9개의 대단원으로 구성이 되어 있다. 이와 같은 대단원 내용의 흐름을 살펴보면, 처음에는 운동의 문제를 다루고 있으며 그 다음으로는 빛의 대한 주제를 다룬다. 다음으로는 전자기력 및 전자기장과 관련된 전자기학의 내용을 전개하고, 그 이후로 상대성 이론, 원자의 구조 및 양자 역학에 대한 내용이 전개된다. 구체적인 내용의 흐름을 살펴보면, 처음에는 운동 현상에 대해 고대 그리스 시대에서부터 어떻게 생각해왔으며, 운동에 대한 설명 방식이 어떻게 변화되어 왔는지 설명한다. 이 과정에서 뉴턴의 역학 법칙이나 행성 운동에 대한 설명, 충돌 문제들을 다룬다. 그 이후 에너지에 대한 개념을 소개하고 에너지 보존법칙에 대해 다룬 후, 이어 열역학에 대한 내용을 다룬다. 끝으로 이와 같은 역학적 개념이 하나의 기계장치처럼 자연세계를 이해하려고 한다는 내용을 다루면서 운동에 대한 대단원을 마무리 짓는다. 그 다음의 대단원은 Cooper 일반물리학 교재의 독특함을 보여주는 단원으로서, 자연현상을 이해하고자 하는 물리학이란 학문이 어떠한 것인지를 설명하는 내용이다. 이에 인간의 자연에 대한 경험과 자연에서 경험되는 질서, 그리고 물리학의 언어와 관련된 내용을 다루고 있다. 다음으로 Cooper 일반물리학 교재는 다시 자연현상에 대한 주제로

돌아가 빛에 대한 탐구를 다루며, 여기에서 파동에 대한 내용을 다루고, 빛이 바로 이와 같은 파동임을 설명하고 있다. 다음의 주제는 전자기학에 관련된 내용들로서, 정전기 상황, 자기장, 유도 기전력 등에 대해 다루고 다음으로 전자기학 이론에 대해 총체적으로 정리하고 있다. 그리고 끝으로 전자기 복사에 대한 내용으로 마무리한다. 다음으로 다루는 내용은 상대성 이론으로서 절대 운동, 절대 정지 등에 대한 개념에서 시작하여 특수 상대성 이론과 일반 상대성 이론까지 내용을 다루고 있다. 마지막으로 Cooper 일반물리학 교재는 20세기 초의 원자의 구조에 대한 탐구를 다루고 여기에서 양자역학에 대한 내용으로 이어간다. 양자역학에 대한 내용은 물질과 개념, 슈뢰딩거 방정식을 비롯한 파동함수의 개념에서 수소 원자에 대한 자세한 설명 및 원자 물리학 등 까지 다루고 있다. 마지막으로 Cooper 일반물리학 교재는 자연세계를 이루고 있는 가장 기본적인 입자에 대한 탐구 내용들을 다루면서 교재의 내용을 마무리한다.

위와 같은 Cooper 일반물리학 교재의 전체 내용의 구성과 그 흐름의 특징을 살펴보면 각각의 장들이 다루고 있는 주제들이 Halliday 일반물리학 교재의 그것과 크게 다르지 않다고 생각될 수도 있다. 그러나 교재에서 다루고 있는 주제들이 Halliday 일반물리학 교재의 그것과 크게 다르지 않다 하더라도 그것을 어떻게 구성하고 전개하는가에서 차이점을 찾을 수 있다. 앞서 Halliday 일반물리학 교재가 마치 물리학 백과사전과 같이 다양한 자연현상에 대한 물리학 내용 지식을 나열하고 있는 것으로 보인다 하였다. 이와는 다르게 Cooper 일반물리학 교재는 총 9개의 대단원을 중심으로 내용을 조직하여, 단지 수많은 물리학 지식들을 나열하기 보다는, 각각의 큰 주제(운동 혹은 빛 혹은 전자기 현상 등)에 대한 탐구와 이해의 맥락으로 내용을 조직하였다.

3.2. Cooper 일반물리학 교재의 ‘원자의 구조’ 내용 구성

앞서 내용 흐름을 살펴본 Halliday 일반물리학 교재의 경우, 원자의 구조와 관련된 내용이 다양한 물리학 개념이나 이론들에 해당하는 장(chapter)에 따로따로 분포되어 있음을 확인할 수 있었다. 이와 다르게 Cooper 일반물리학 교재에는 원자의 구조(Structure of the Atom)라는 이름의 대단원이 따로 편성되어 있다. 이러한 단원의 편성만으로 볼 때에도, 저자 Cooper는 물리학 내용을 전개함에 있어서 원자의 구조 내용을 중요하게 다룰 필요성이 있다 여긴다고 생각할 수 있다. Cooper 일반물리학 교재의 원자의 구조 단원의 목차는 다음과 같다.

[표 IV-6] Cooper 일반물리학 교재의 원자의 구조 내용

STRUCTURE OF THE ATOM
Ch.28 Silver Thread
Discrete Spectral Lines
X Rays
Radioactivity
Ch.29 Discovery of the Electron
Thomson's Experiment
Electrical Constitution of Matter
Thomson's Atom
Ch.30 Rutherford's Nuclear Atom
Ch.31 Origins of the Quantum Theory
The Dilemma posed by Rutherford's Atom

Max Planck's Quantum of Action

Albert Einstein's Photon Niels Bohr's Hydrogen Atom

교재의 대단원인 '원자의 구조(STRUCTURE OF THE ATOM)'는 총 4개의 장(chapter)으로 이루어져 있다. 대략적으로 20세기 초기의 원자 모형들, 즉 일반적으로 학생들에게 익숙한 Thomson, Rutherford, Bohr의 원자 모형들에 대한 내용을 중심으로 그 역사적 순서대로 내용이 구성되어 있다.

그렇다면 구체적으로 Cooper 일반물리학 교재에서는 이와 같은 내용들을 어떤 흐름으로 전개하고 있는가?

먼저 교재의 28장에서는 은색 실(Silver Thread)이라는 제목으로 내용을 시작하고 있다. 이와 같은 은색 실(Silver Thread)이라는 제목의 의미는 20세기를 기점으로 새로운 양상으로 변화되는 물리학의 상황에 대해 비유적으로 표현한 것인데, 이에 대해서는 이후 본 논문의 5장에서 자세하게 소개할 것이다. 아무튼 Cooper 일반물리학 교재는 28장에서 이와 같은 제목 하에 19세기 말에서 20세기 초 물리학에서 일어났던 사건들을 보여주며 원자의 구조 단원의 내용을 시작하고 있다. 우선 28장이 시작되면서 교재는 이전 단원에서 다루었던 상대성 이론(theory of relativity)에 대해 이야기한다.

Relativity, from one viewpoint the beginning of twentieth-century physics, is from another the capstone of classical physics, the final and most elegant variation of that world view initiated by Galileo and Newton. In a sense, after Einstein, classical physics, just as after Mozart classical music, could go no further. But within the theory of relativity there is a point of view—a reanalysis of fundamental ideas and an explicit display of the wisdom of retaining only concepts amenable to measurement (discarding those, such as absolute time, which were not), an emphasis on

28

SILVER THREADS

Relativity, from one viewpoint the beginning of twentieth-century physics, is from another the capstone of classical physics, the final and most elegant variation of that world view initiated by Galileo and Newton. In a sense, after Einstein, classical physics, just as after Mozart classical music, could go no further. But within the theory of relativity there is a point of view—a reanalysis of fundamental ideas and an explicit display of the wisdom of retaining only concepts amenable to measurement (discarding those, such as absolute time, which were not), an emphasis on the equivalence of one observer and another which should be reflected in the laws of physics—developed with extraordinary variations as the twentieth century progresses.

That remarkable inclusiveness of classical physics, from the motion of the planets to the behavior of gases, could justify, at least psychologically, the attitude that the view of the world it presented was essentially complete. Surely things existed that were not understood. But would they be understood within the classical picture? Had the framework been outlined completely, and was what remained only the filling in of the details? Or, were there important new elements still to be created? The great successes of classical theory—mechanics, energy, electromagnetic theory, and the electromagnetic nature of light—make understandable the opinion that all that remained was the filling in of the sixth decimal place.* There was evidence which, in retrospect, enables us to see that all was not well. In retrospect, one is able to see much; but for those in the middle of events, it was like one of those puzzles where by moving squares one is required to arrange the numbers in an order, from 1 to 15; one finds that the first thirteen fall easily into place, but the last one or two cannot be made to fit properly. Yet, one would rather endlessly and hopelessly manipulate the last two rather than go back to the beginning and admit that it is another order, right from the beginning, which will fit all the numbers into their place. When one has successfully constructed a theory that encompasses so much of the world, it is hard to admit that it will have to be razed so that its foundations can be rebuilt completely. Rather, one struggles for a very long time to adapt, to modify, to cut, and to alter so as to include even the most unfriendly and alien facts into the compass of a point of view which one knows, which one has been taught, and whose success is demonstrable and great.

* This famous remark about the "sixth decimal place" was made, according to Millikan in his autobiography, by Michelson at the dedication of the Ryerson Physical Laboratory at the University of Chicago in June, 1894. Michelson believed he was quoting Kelvin, and later told Millikan that he regretted ever having said such a thing.

the equivalence of one observer and another which should be reflected in the laws of physics—developed with extraordinary variations as the twentieth century progresses. (Cooper, 1992, p.301)

상대성 이론은 고전역학의 정점이자 가장 우아한 변화(elegant variation)이며, 이러한 상대성 이론이 우리에게 어떤 새로운 관점들을 제공하고 있다고 교재는 설명하고 있다. 이어서 고전 물리학이 많은 것들을 설명할 수 있는 성공적인 것이긴 하지만 고전 물리학적으로도 설명되지 않는 것들이 있다고 이야기한다. 그리고 이와 같이 고전 물리학의 설명에 포함되지 않는 것들이 고전 물리학의 그림을 다른 그림으로 바꿀 수 있다며 다음과 같은 비유적 설명을 한다.

In the tapestry that was classical physics, if one could have looked properly, one would have discerned those threads of a new color that did not fit the many themes and variations of the Newtonian woof and warp. But whether these alien threads would disappear, an error of the weavers hand, or whether they would continue and develop into new and rich themes of their own was something the spectator, or even the weaver, could not know too well at the time. (Cooper, 1992, p.302)

이처럼 물리학에서 새로운 그림이 그려질 것을 암시한 후, 교재는 본격적으로 19세기에 발견되고 논의되었던, 새로운 그림을 그려나갈 자연현상들에 대해 소개하기 시작한다. 가장 먼저 교재는 불연속적인 스펙트럼 선(discrete spectral lines)에 대한 내용을 설명한다. 교재는 1666년 Newton이 프리즘을 이용해 태양빛의 스펙트럼을 관찰한 것에서 시작하여 1802년 Wollaston이 이와 같은 태양빛의 스펙트럼에서 검은 선을 발견하였다는 것, 그리고 그 이후

1814년에 Fraunhofer가 분광기를 개발하여 이러한 검은 선에 대한 구체적인 정보를 알게 되었다는 것을 소개한다. 다음으로 1859년 Kirchhoff와 Bunsen이 나트륨을 연소시켰을 때 나오는 빛의 스펙트럼이 태양의 스펙트럼에서 관찰되는 검은 선의 일부와 일치하는 등의 관찰 결과를 통해, 이러한 스펙트럼의 패턴이 원소별 특징과 관련이 있다고 생각함을 보이고 있다. 그리고 다음과 같은 Kirchhoff의 분광학(spectroscopy)의 두 가지 근본 법칙에 대해 소개하고 있다.

Shortly afterward, Kirchhoff announced what can be called the two fundamental laws of spectroscopy: (1) To each chemical species there corresponds a characteristic spectrum; and (2) every element is capable of absorbing the radiation which it is able to emit. (Cooper, 1992, p.303)

교재는 이러한 Kirchhoff의 발견과 법칙에 의해 복잡한 혼합물들의 성분이나 당시 물리학자들이 그동안 불가능할 것이라 여겨졌던 별의 대기의 화학적 성분에 대한 지식을 얻는 것이 가능해졌다고 설명한다.

뒤이어 교재는 이와 같이 선 스펙트럼을 활용하여 화학적 원소 성분을 확인할 수 있다 하더라도, 물리학자들에게는 좀 더 본질적인, 스펙트럼 그 자체에 대한 질문—왜 원소들마다 고유의 불연속적인 선 스펙트럼을 가지는지—이 남아있음을 보인다.

But from the physicists point of view, the fact that each separate element had associated with it its own distinct spectrum of sharp lines— that each atom had its own signature—was very striking and mysterious. (Cooper, 1992, p.305)

이어서 교재는 이러한 탐구 가운데, 가장 가벼운 원소이며 가장 단순한 스펙트럼의 패턴이 나타나는 수소 원자가 과학자들의 분석 대상이 되었다고 밝히며, 이후 1885년에 Balmer가 수소 원자의 스펙트럼에서 나타나는 선들의 관계를 보여주는 공식에 대해 그 생각의 과정과 결과 공식을 설명한다.

다음으로 교재는 Röntgen의 X선(X-ray), 그리고 Becquerel과 Curies 부부에 의해 연구된 방사성 물질과 방사능에 대한 내용을 전개한다. 그리고 28장의 내용을 마무리하면서 앞서 전개한 스펙트럼, X선, 방사능과 같은 자연 현상들이 기존의 고전 물리학의 그림에 통합되기 어렵다고 설명하며 이에 이러한 현상들이 새로운 실(thread)이 되어 다시 새로운 그림을 그려야 하게 만들었으며 그것이 바로 '원자'에 대한 탐구로 돌아가게 했다고 다음과 같이 서술하고 있다.

In general, the detailed properties of materials—their magnetic and optical properties ; why some are conductors why others are not; what is the nature and internal constitution of matter —these questions never would be resolved within the domain of classical physics. These threads that were beginning to appear—the problems tint troubled Maxwell, a paradox first observed by J. Willard Gibbs, radio activity, X rays, the discrete spectral lines—single threads at first, did not disappear. The future would be dominated by themes which, reading backward, one could see to begin with these lonely strands. But in the end it was on the trail of that old and elusive concept, the atom, that the world created by Newton and Descartes, the world of Democritus, Epicurus, Lucretius, and Gassendi came to the end of its usefulness. (Cooper, 1992, p.308)

다음으로 교재의 29장의 제목은 전자의 발견(discovery of the electron)이며 Thomson의 전자 발견과 그의 원자 모형에 관련한 내용이라 볼 수 있다. Thomson의 실험과 전자의 발견, 그리고 그의 원자 모형에 대해 2-3 문장 정도로 간략하게 서술하였던 Halliday 일반물리학 교재와는 다르게 상대적으로 매우 자세하게 내용을 서술함을 볼 수 있다. 29장의 처음 내용은 Thomson의 실험에 대한 내용이다. 그런데 교재는 곧바로 Thomson의 실험에 대해 이야기하기 보다는 먼저 28장의 끝부분에서 언급한바와 같이 이제 전개할 내용의 주제가 '원자'임을 다시 소개하고 있다.

The hypothesis of the atom, that irreducible entity, patterns of which in the void form the objective world as we see it, is as old as our civilization:

Nature resolves everything into its component atoms.

...But what was the atom? What meaning did it have to ask the question? By the turn of the century the elaborate development of classical theory and the introduction of new techniques made possible an increasingly insistent and detailed return to this question: What is the nature of the atom? That theme and its variations develop into a major movement of twentieth-century physics. (Cooper, 1992, p. 309)

이와 같이 '원자란 무엇인가?' 혹은 '원자의 본질(nature)이 무엇인가?'라는 질문을 던진 후, 교재는 19세기 후반 물리학자들에게 가장 큰 관심사였던 진공 튜브에서의 전기방전, 다시 말해 음극선(cathode ray) 실험에 대해 소개한다. 그리고 Thomson이 이러한 음극선의 본질이 입자인지 혹은 파동인지를 확인하고 또 입자라면 어떤 입자인지를 확인하기 위해 어떤 실험과 과정을 거쳤는지, Thomson의 당시 논문 원전을 인용하면서 자세히 설명한다. 그

29

DISCOVERY OF THE ELECTRON

THOMSON'S EXPERIMENT

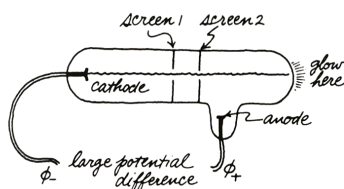
The hypothesis of the atom, that irreducible entity, patterns of which in the void form the objective world as we see it, is as old as our civilization:

Nature resolves everything into its component atoms.¹

For Newton, hard, massy, and indivisible; the atom of kinetic theory, whose average kinetic energy is what we read as temperature; the atom of the chemist, whose uniform combinations reveal its presence in chemical reactions; the hydrogen atom of Prout, combinations of which make up all the elements. Often in disrepute, often in the background, for at least 25 centuries the concept of the atom had existed.

But what was the atom? What meaning did it have to ask the question? By the turn of the century the elaborate development of classical theory and the introduction of new techniques made possible an increasingly insistent and detailed return to this question: What is the nature of the atom? That theme and its variations develop into a major movement of twentieth-century physics.

In the later part of the nineteenth century, many studies were made of the discharge of electricity through rarefied gases. These discharges (produced with an induction coil or electrostatic machine—either capable of creating large potential differences) were passed between a negative terminal, called a *cathode*, and a positive terminal, called an *anode*, both of which were sealed into a glass tube from which most of the air had



been exhausted. When the air is sufficiently exhausted from the tube, a dark region around the cathode, known as the *Crooke's dark space*, grows longer and longer until finally it extends toward the other side of the tube, which is then observed to glow—the color depending upon the kind of glass of which the tube is made. If various screens are introduced, such as screen 1 and screen 2 here, the glow is confined to a spot at the end of the tube, as though something coming from the cathode is going through the holes in the screen, reaching the glass on the other side to make it glow. These somethings were christened *cathode rays*.

DISCOVERY OF THE ELECTRON 309

[그림 IV-4] Cooper 일반물리학 교재 29장의 첫 페이지
리고 Thomson의 실험 과정 및 계산을 따라가며 전자의 전하비(m/e) 값을

구하고, Millikan의 기름방울 실험을 간략하게 소개하면서 최종적으로 전자의 질량과 전하량이 어떠한지를 보여준다.

이렇게 전자의 발견에 대한 내용을 설명한 후, 교재는 곧바로 Thomson의 원자 모형을 설명하기보다는 물질의 전기적 구성(electrical constitution of matter)을 주제로 하여 내용을 전개한다. 여기서는 먼저 Thomson의 실험 이전에 수행되어 관찰되었던 Zeeman 효과, 즉 자기장 속에서 원소 스펙트럼의 선 간격이 달라지는 현상에 대해 소개한다. 그리고 Zeeman의 논문 원전을 인용함을 통해 이러한 현상이 Lorentz의 이론에 따라 물질 안에 전기를 띤 작은 입자가 있는 것으로 해석되고 설명될 수 있음을 보인다. 그리고 이러한 여러 증거들이 물질의 전기적 구성에 대한 믿음으로 이끌었다고 이야기하며, 다음의 관심 혹은 주제가 바로 물질 내부의 전기적 재료들의 배열 방식임을 보인다.

Such results, plus the obvious fact that electricity could be obtained from matter by rubbing, that charged particles, like cathode rays, were emitted from matter under the proper circumstances, led to a belief, almost universally accepted at the turn of the century, in the electrical constitution of matter. If matter was somehow composed of electrical material, what was the arrangement of this material within matter?

(Cooper, 1992, p.314)

교재는 당시의 과학자들이 이와 같은 물질 내부의 전기적 배열에 대한 질문의 답을 위해 끊임없이 여러 실험들을 하기도 하며 이론적 구성을 하었다고 설명한다. 그리고 이런 다양한 실험 후에 Thomson이 원자 내의 전자의 개수가 원자의 화학적 무게의 순서를 결정한다고 결론을 내린 것과, 전자의 질량이 가장 가벼운 수소원자보다 2000배 가볍다는 것, 따라서 전기적으로

중성인 수소 원자의 양전하는 전자와 같은 양의 전하량이며 그 질량은 전자의 2000배여야 한다는 결론을 내렸다고 설명한다.

다음으로 비로소 교재는 Thomson의 원자 모형에 대한 설명을 시작한다. 먼저 교재는 1902년 Lord Kelvin (William Thomson)이 양전하가 원자 내부에 고르게 분포되어 있고 전자가 마치 케이크 안의 건포도처럼 분포되어 박혀있는 모델을 제안하였음을 보인다. 그리고 이러한 원자 모형은 전하들이 정전기적 힘만으로는 안정적 평형상태에 있을 수 없다는 전자기학 이론에 따라 문제가 있음도 설명한다. 그리고 전자를 발견했던 J. J. Thomson이 Kelvin의 모형을 발전시켜서 안정적인 전자의 배열을 이끌어냈었다고 서술하고, 특히 Thomson이 본인의 원자 모형을 통해 주기율표 및 원소별 특유의 스펙트럼까지 설명하려함을 보인다.

이어서 교재에서는 Thomson의 원자 모형에 대한 작업이 고전 물리학의 시스템 안에서 이뤄진 것이라 설명하고 있으며, 원자에 대한 이해는 기체나 강체와 같이 이미 알고 있는 것과 같은 방식으로 이해하는 것이라 설명하고 있다. 또한 Cooper 일반물리학 교재는 여기서 "나는 가설을 만들지 않는다"라는 Newton의 유명한 발언을 인용하면서, 반면에 원자에 대한 탐구에는 많은 가설이 세워졌었으며 그것이 필수적인 과정이었다고 이야기한다. 그리고 이러한 가정들이 그럴듯하면서 한편으로 고전적인 아이디어들과 대조되는 것이라면, 고전 물리학이 폐기될 수도 있다고 설명하면서 29장을 마무리한다.

교재의 30장은 Rutherford의 원자핵 발견과 그의 모델에 관련된 내용이다. 앞서 28장 및 29장과는 달리 30장은 하위 소단원들이 따로 존재하지 않고 모든 내용이 통합되어 서술되어 있다. 그 내용의 흐름을 살펴보면, 먼저 교재는 1910년 당시 물리학자들이 전자를 포함한 전기적 구성물로서 원자의 구조를 파악하고자 여러 시도를 하였다고 소개하며, 당시 가장 널리 수행되기 시작한 입자 산란 실험에 대해 설명한다.

Such evidence could be obtained using a method that had been developed during the first decade of the new century. This consisted in firing various particles through thin pieces of matter and studying their deflection to attempt to probe the structure of the object that did the deflecting. the α and β particles traverse the atom, it should be possible from a close study of the nature of the deflexion to form some idea of the constitution of the atom to produce the effects observed. In fact, the scattering of high-speed charged particles by the atoms of matter is one of the most promising methods of attack of this problem. for example, one had a thin foil of gold, one might fire particles through this foil and observe their deflection. This type of process (called scattering), in which one observes the scatter of the incident particles from the targets, to study the nature either of the incident particles or the target, has become one of the primary tools in the study of atoms, nuclei, and fundamental particles. (Cooper, 1992, pp.316-317)

이와 같이 입자 산란 실험에 대한 소개 후, 교재는 당시 물리학자들이 원자에 대한 탐구를 용이하게 하기 위해 산란 실험에 사용될 입자로는 α 입자, 그리고 탐구할 대상은 금박지(gold foil)를 사용하였다고 설명한다. 그리고 1910년 당시 Rutherford가 그의 제자인 Geiger와 Marsden과 함께 수행하였던 α 입자 산란 실험 내용에 관하여 설명하고, 실험 내용에 대한 설명 후에 Rutherford의 말을 인용하면서 α 입자 산란 실험의 결과와 이에 대한 해석의 내용을 전개한다. 특히 이와 같은 실험의 결과를 해석하는 데 있어서, Thomson의 원자 모형, 즉 양전하가 원자의 크기만큼 고르게 분포되어 있는 모형으로는 이러한 α 입자 산란 실험의 결과를 설명할 수 없으며, 실험 결과

를 온전히 설명하기 위해서는 매우 좁은 범위에 양전하와 질량이 집중되어야 함을 설명한다. 여기서 이러한 해석을 전개시킬 때, 산란 현상을 설명하기 위한 수식 전개 및 Rutherford 논문의 인용 등을 활용하면서 서술하고 있다. 이와 같은 흐름으로 Cooper 일반물리학 교재는 결국 Rutherford가 원자 내에는 양전하와 질량이 집적된 매우 작은 크기의 원자핵(nucleus)가 있음을 제안하였다는 내용을 끝으로 30장을 마무리한다.

다음의 31장은 양자 이론의 기원(Origins of the Quantum Theory)에 관한 내용이다. 이 장에서는 Bohr의 원자 모형에 대해, 그리고 그의 원자 모형이 함의하고 있는 양자 이론의 기초 개념들에 대해 다루고 있다. 그 내용의 흐름을 살펴보면 다음과 같다.

우선 교재는 Rutherford의 원자 모형이 태양계 모형과 같은 모습으로서 전자기학 이론에 의해 그 안정성을 보장받을 수 없다는 문제를 자세히 설명한다. 또한 이러한 Rutherford의 원자 모형에서는 여전히 원소의 스펙트럼이 선의 형태로 불연속적으로 나타나는 현상을 설명할 수 없다는 것도 보인다. 이러한 문제를 제기한 후, 교재는 1913년 Bohr가 이러한 문제를 해결하였다고 소개하고 있다.

In 1913 Niels Bohr proposed his famous theory of the hydrogen atom. One cannot say that he resolved the problems raised by Rutherford. In a sense he crystallized the dilemma in an even more dramatic form. Focusing his attention entirely on the construction of a nuclear atom Bohr took what principles of classical physics he needed and added several nonclassical hypotheses almost without precedent; the mélange was not consistent. But they formed a remarkably successful theory of the hydrogen atom. It would be years before it could be said that one had a consistent theory again. (Cooper, 1992, pp.324-325)

이어서 교재는 Bohr가 제안한 수소원자에 대한 가설—양자 개념이 포함된—을 소개하고, 이러한 Bohr의 가설이 고전 물리학과는 대치되는 것이라 설명한다. 그리고 이러한 양자개념이 Bohr에게서 처음 나온 것이 아니며 이미 19세기 말에 그 기원이 있음을 이야기한다. 교재는 Bohr의 원자 모형(원자 가설)에서 사용된 양자 개념에 대한 기원으로서 Max Planck의 작용 양자(Quantum of Action)개념을 설명한다. 교재는 19세기에서 20세기로 전환되는 시점에 과학자들에게 있어 흑체복사(black body radiation) 현상이 매우 관심을 끌었다고 소개하고, 기존의 이론으로는 흑체복사에서 나오는 에너지-파장 곡선을 제대로 설명할 수 없었다고 이야기한다. 그리고 이 문제를 Planck가 흑체복사에서 나오는 빛의 에너지를 연속적이지 않은 불연속적 덩어리로 생각하면서 그 문제를 해결하였다고 설명한다. 이때 Planck가 제안한 빛의 에너지 덩어리의 기본단위로서 제안한 Planck 상수 h 를 다른 말로는 작용 양자(quantum of action)이라고 한다 소개한다. 교재는 이러한 Planck의 제안은 고전 이론과는 맞지 않는 것이지만 그것이 흑체복사 현상을 가장 잘 설명해주는 것으로서 중요한 의미가 있음을 이야기한다.

Planck's assumption was ad hoc; it was unprecedented; it was askew to everything that had occurred before in classical theory; but it had one virtue: the resulting theoretical distribution of radiation was almost identical with what was seen coming out of the hole in the oven. (Cooper, 1992, p. 327)

다음으로 교재는 Planck의 가정이 흑체복사 현상에 대해 잘 설명하고 있지만, 그 아래에 기반하고 있는 것이 무엇인지 파악하기 힘들다고 이야기한다.

Was the situation clarified by Planck's hypothesis? With it, it was possible to construct a theoretical curve in agreement with observation. But an understanding of its underlying basis was elusive. And so one might say Planck's relation, $E = h\nu$, remained in the wings—an intrusion into the main sweep of classical physics that Planck, among others, hoped would somehow disappear. (Cooper, 1992, p. 328)

이와 같은 Planck의 아이디어가 기반하고 있는 것이 무엇인지 탐색하는데 있어서 교재는 1905년 Einstein의 광전효과(photoelectric effect) 해석을 소개한다. 우선 교재는 1887년 Heinrich Hertz가 전극에 빛을 쏘았을 때 더 빨리 방전이 되는 것을 통해 광전효과와 현상이 발견되었으며, 전극에서 전자가 튀어나올 때 그 수는 빛의 세기에, 그 에너지는 빛의 진동수에 의존한다는 관찰 결과를 기존의 이론들이 설명하지 못하였다고 말한다. 교재는 이에 1905년 Einstein이 Planck의 아이디어를 받아들여 빛이 연속적인 전자기파가 아니라 만큼의 에너지 덩어리라고 제안함을 보인다. 그리고 이러한 Einstein의 제안이 광전효과와 현상을 잘 설명할 수 있다고 설명하고, 이런 개념이 계속 고전 역학과는 대치되고 있다는 것을 이야기한다.

이와 같이 Planck 및 Einstein의 양자 개념을 설명한 후, 교재는 다시 원자의 이야기로 돌아가 Bohr의 수소원자에 대한 내용을 전개한다. 원자 중심에 매우 작은 공간에 양전하들이 집적되어 있고 그 주위를 전자가 원궤도 운동을 하고 있다는 Rutherford의 원자 모형을 기초로 하고, Bohr의 원자 가설을 접목시켜서 Bohr의 수소원자 모형에서 전자가 가질 수 있는 각운동량, 그리고 에너지 등을 계산한다. 그리고 역시 Bohr의 원자 가설에 입각하여 각 궤도에서의 에너지 차이에 따라 방출되는 빛의 파장을 계산하고 그 규칙을 유도해낸 후, 이러한 규칙이 앞서 수소원자의 선 스펙트럼을 설명했던 Balmer의 공식과 일치하고 있음도 보인다.

끝으로 Cooper 일반물리학 교재는 이와 같은 Planck, Einstein의 아이디어와 Bohr의 원자 모형이 원자와 그와 관련된 현상에 대해 잘 설명해주고 있지만, 원자에 대해, 그리고 Bohr가 제안한 아이디어에 대해 더 많은 의문과 수수께끼가 남아있다고 서술하며 원자의 구조 단원을 마무리 짓는다.

The achievement was remarkable; but the theory was not complete. In a sense it raised more questions than it answered. The electrons were permitted only in their allowed orbits. In these orbits, contrary to Maxwell's theory, they did not radiate; but radiation was emitted where they made transitions, from one orbit to another. Where were they during the transition? Did the electron exist at all in between orbits? Did the electron exist in a usual sense when it was in its allowed orbit? Could one ask such questions? ... And although he was able to make a limited connection with classical theory, this combination of classical, neoclassical, and contrary-to-classical principle Bohr had put together, which successfully for the first time produced a hydrogen atom, remained almost as much an enigma as before Bohr had begun to work. (Cooper, 1992, p.337)

3.3. Cooper 일반물리학 교재 '원자의 구조' 내용의 플롯-이야기 구조

Cooper 일반물리학 교재의 경우 Halliday 일반물리학 교재와는 달리 '원자의 구조' 내용과 관련된 단원이 따로 구성되어 있다. 앞서 그 내용을 보인바와 같이 '원자의 구조' 단원은 19세기 말의 원자에 대한 탐구의 배경이 되는 스펙트럼, x선, 방사선 등의 이야기에서 시작하여, Thomson, Rutherford, 그리고 Bohr의 원자 모형에 관련된 내용까지 이어진다. 본 연구에서는 이와

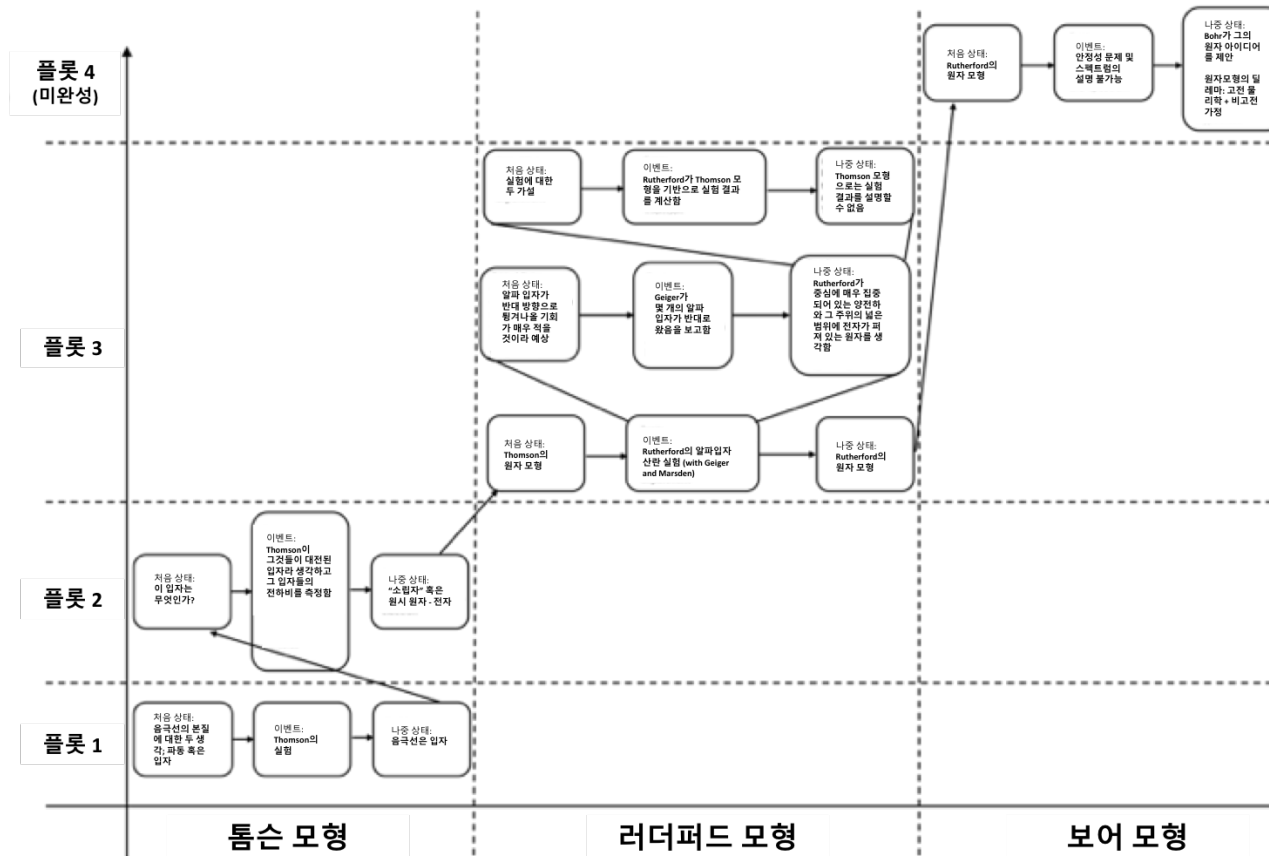
같은 Cooper 일반물리학 교재의 '원자의 구조' 단원 내용을 Thomson, Rutherford, Bohr의 원자 모형에 대한 내용을 기준으로 살펴보고 분석한 결과, 4개의 플롯으로 구성할 수 있었다. 다음의 표 IV-7은 Cooper 일반물리학 교재의 원자의 구조 단원에서 구성한 플롯에 대한 표이며, 그림 IV-3은 이에 대한 플롯-이야기 구조 그림이다.

[표 IV-7] Cooper 일반물리학 교재 원자의 구조 내용 플롯

플롯	도입	절정	해소
플롯 1: 원자 내 입자 주인공: 음극선 (전자) 상황: 두 과학자 그룹 사이의 논쟁	[음극선의 본질에 대한 논쟁의 시작: 과동 vs. 입자] 기체의 방전 현상의 본질에 대한 질문들	[Thomson의 실험] 음극선의 본질을 결정하기 위함	[음극선은 입자] Thomson이 음극선이 입자라고 가정하고 실험을 수행함
플롯 2: 새로운 입자 주인공: 음극선 (전자) 상황: 음극선 입자의 본질에 대한 의문	[음극선 입자의 본질에 대한 Thomson의 의문: 일반적 대전 입자 vs. 이온] (이 의문에 대한 배경은 드러나 있지 않음)	[Thomson의 실험 2: 전하비 측정] 입자가 무엇인지를 결정하기 위함	["소립자(corpuscles)" 또는 원시원자(primordial atoms) (전자): Thomson의 원자 모형] 입자의 전하비가 일정함
플롯 3: Rutherford의 원자핵 발견 주인공: Rutherford 상황: 다양한 실험과 추측, Rutherford의 알파입자 산란 실험	[It could not explain the result of Rutherford's experiment, with Thomson's model of atom] Unexpected result of	[Rutherford calculated the result of experiment base on the two models] Because Thomson also made hypothesis for	[Nucleus of Atom: Rutherford's model] By the calculation, Rutherford showed that it is impossible to explain the result with Thomson's

	experiment	result of experiment. Therefore it needed to confirm which hypothesis (idea of atom) is right	hypothesis
플롯 4: Bohr의 원자 모형 (미완성) 주인공: Bohr 상황: Rutherford 모형의 안정성 문제	[Bohr가 원자 모형에 대한 딜레마를 구체화시킴] Rutherford 모형의 문제를 해결하기 위해 Bohr가 고전 물리학의 원칙에 비교 전적인 가정을 추가함	X	[Bohr의 모형이 받아들여짐] (이유가 드러나 있지 않음)

먼저 본 연구에서 구성한 Cooper 일반물리학 교재의 '원자의 구조' 단위 플롯을 살펴보면, 우선 음극선의 본질에 대한 탐구 이야기가 첫 번째 플롯의 중심 내용이 된다. 여기서는 Thomson 당시 과학자들이 음극선의 본질에 대해 입자와 파동이라는 두 입장으로 갈라져 논쟁적이었으며, Thomson의 실험이 바로 이 문제를 해결하기 위함이었고 결론적으로 음극선의 본질이 입자라는 것을 보였다는 내용으로 이루어져있다. 이러한 플롯의 내용을 전개시키는 이야기 구조는 음극선의 본질에 무엇인지에 대한 갈등 상태에서 Thomson의 실험이라는 이벤트를 걸쳐 음극선의 본질이 입자로 결정되었다는 방식으로 구성되어 있다. 여기서 중요한 점은 이와 같은 하나의 이야기 구조로 첫 번째 플롯이 구성되기는 하였지만, 여기에서 그치는 것이 아니라, 첫 번째 이야기 구조의 마지막 상태가 다시 두 번째 플롯을 구성하는 이야기 구조의 시작 상태가 되어 유기적으로 이어진 이야기 구조 덩어리를 형성한다는 것이다.



[그림 IV-5] Cooper 일반물리학 교재 원자의 구조 내용 플롯-이야기 구조

두 번째 플롯의 중심 내용은 이렇게 발견된 음극선 입자가 기존에 알고 있던 기체 이온 입자인지 아니면 새롭게 발견되는 입자인지에 대한 논쟁이다. 이와 같은 내용의 플롯은 음극선 입자에 대한 의문을 가지고 Thomson이 이 입자의 전하비를 측정하는 실험을 통해 이후 '전자'라고 불리는 완전히 새로운 입자임을 알게 되었다라는 이야기 구조로 구성되어 있다. 이와 같이 두 번째 플롯이 끝난 후에도 이야기 구조의 마지막 상태가 다시 세 번째 플롯의 처음 상태로 연결되는 모습을 볼 수 있다.

세 번째 플롯의 내용은 Rutherford가 알파입자 산란실험을 통해 예상치 못한 결과를 얻게 되었으며 이 결과에 대한 해석에서 Thomson의 아이디어와 논쟁을 겪었고, 결국은 그의 원자핵 아이디어가 실험의 결과를 더욱 설명할 수 있었다는 내용이다. 위의 제시된 플롯-이야기 구조 그림을 살펴보면 세 번째 플롯은 단일한 이야기 구조로 이루어지지 않고 3개의 이야기 구조로 이루어져 있음을 확인할 수 있다. 큰 줄기의 이야기 흐름으로서 Thomson의 원자 모형에 대한 아이디어가 Rutherford의 실험에 의해 Rutherford의 원자핵 모형으로 변화되는 것을 보여주는데, 여기서 Rutherford의 실험에 대해서는 단지 그러한 실험이 있었다라던가, 그 결과만 제시하는 것이 아니라, 그 실험에 대한 또 하나의 이야기 구조를 구성한다. 새로운 이야기 구조는 Rutherford가 실험 전에 예상하였던 실험 결과가 있었으나 실제 실험 결과가 예측과 다른 결과가 나온 이벤트를 통해 원자핵에 대한 아이디어를 생각하게 되었다는 구조이다. Cooper 일반물리학 교재는 여기서 또 하나의 이야기 구조를 삽입하는데, Rutherford가 원자핵에 대한 아이디어를 바로 제시한 것이 아니라 Thomson의 해석과의 비교 및 데이터의 계산 등을 통해 Thomson의 해석으로는 설명이 불가능하다는 것을 보이고 원자핵 아이디어를 제시한 것이라는 내용이다. 이처럼 세 번째 플롯은 3가지 이야기 구조가 서로 포함되고 결합되는 방식으로 그 내용이 구성되어 있음을 볼 수 있다. 그리고 다른 플

플롯과의 관계들과 마찬가지로 세 번째 플롯의 가장 마지막 상태는 다시 네 번째 플롯의 처음 상태가 되어 자연스럽게도 유기적으로 네 번째 플롯의 이야기로 연결된다.

네 번째 플롯은 완벽하게 완성되지 않은 플롯이다. 이 플롯은 Bohr의 원자 모형과 관련된 내용으로서 Rutherford의 원자 모형이 해결할 수 없는 안정성 및 스펙트럼의 문제를 해결하기 위해 Bohr가 고전 물리학적 이론과 비-고전 물리학적 개념을 혼합한 원자 모형을 제안했다는 것이다. 이와 같이 고전 물리학과 비-고전 물리학 개념들의 혼합으로 구성된 Bohr의 원자 모형은 결국 받아들여졌지만, 교재에서는 그것이 왜 받아들여졌는지에 대한 충분한 설명이 들어있지 않다. 이러한 Bohr의 원자 모형에 대한 플롯은 Rutherford 모형에서 문제가 발생하여 Bohr의 새로운 원자 모형에 대한 제안으로 변화했다는 이야기 구조를 가지고 있다.

이와 같은 Cooper 일반물리학 교재의 '원자의 구조' 단원의 플롯-이야기 구조의 특징을 생각해보면, 가장 중요한 특징으로 각각의 이야기들을 분절적으로 나열되어 있기보다는 원자에 대한 탐구라는 큰 주제와 흐름 안에서 긴밀히 연결되어 전개되고 있다는 것을 들 수 있다. 이러한 구성을 통해 독자들은 원자의 구조에 대한 내용을 하나하나 각각 접하게 되기보다는 하나의 이야기 흐름이라는 큰 덩어리로 마주하게 된다. 이렇게 됨으로서 원자 모형에 대한 결론적이면서도 단편적인 지식만을 습득하게 되는 것이 아니라, 주요 내용 흐름의 이해 속에서 원자 모형에 대한 결론 뿐 아니라 그 의미, 과정 등에 대한 총체적인 이해가 가능해 지는 것을 기대할 수 있다. 다시 말해, 앞서 보인 Cooper 일반물리학 교재의 원자의 구조 단원의 내용 흐름과 함께 생각한다면, Cooper 일반물리학 교재는 '원자의 구조' 단원 내용을 구성함에 있어서 각 원자 모형에 대해 분절적으로 다루기보다는, 원자의 구조를 알아가고자 하는 탐구의 역사적 맥락 속에서 모든 이야기들이 유기적으로 연결되어

원자에 대한 하나의 큰 이야기로 원자의 구조 내용을 배울 수 있도록 구성하였다고 볼 수 있다.

V. Cooper 일반물리학 교재 특징에 대한 체계적 이해

이제까지 Cooper 일반물리학 교재의 원자의 구조 단원의 내용 구성 및 본문 서술의 특징을 함께 살펴보았다. 여기서는 이와 같이 파악된 Cooper 일반물리학 교재의 특징들이 좀 더 종합적이고 체계적으로 어떻게 이해될 수 있는지를 알아보고자 하였다. 이를 위해 본 연구에서는 Eger (1989)가 제안하였던 '과학의 관심' 개념을 바탕으로 개발한 분석틀을 중심으로 하여 Cooper 일반물리학 교재에 대한 체계적인 이해를 추구하고자 하였다.

1. 연구 방법

앞서 이론적 배경에 소개된 Eger (1989)의 '과학의 관심'(interest of science) 개념에 대한 논의에서는 과학에 근본적인 2개의 관심 - 기술적 관심(technical interest)과 우주론적 관심(cosmological interest) - 이 있으며, 이와 같은 관심들로 인해 특정한 행위들이 특정한 방법(이조차도 관심에 의해 규정된)에 따라 야기된다고 하였다. 구체적으로 Eger는 기술적 관심은 도구적인 방법론(instrumental methodology)을 통하여 목적 지향적이며 합리적인 행동(purposive-rational action)을 야기하며, 반면에 우주론적 관심은 방법론에 대한 반성(reflection on methodology)을 통해 해석적이고 소통적 행동(hermeneutic-communicative action)을 야기한다고 하였다. 이를 다시 표로 정리하면 다음과 같다.

[표 V-1] 과학의 관심, 방법론, 행위의 관계

관심	+	방법론	→	행위
기술적 관심	+	도구적 방법론	→	목적 지향적-합리적 행위
우주론적 관심	+	방법론에 대한 반성	→	해석학적-소통적 행위

이와 같이 과학의 관심과 방법론, 행위 등에 대해 설명하고 있는 Eger의 아이디어는, 어떠한 물리교육적 지향이나 관점을 가지고 저술된 물리학 교재들의 질적인 양상을 분석하고 이해하고자 하는 본 연구자의 연구 목적과 관련하여 매우 좋은 분석 기준으로서의 아이디어를 제공할 수 있을 것이라 판단되었다. 본 연구자는 이에 선행연구에서 일차적으로 Eger의 과학의 관심 논의를 바탕으로 하여 물리학(과학) 교재 혹은 교과서를 분석할 수 있는 분석틀을 개발한 바 있다 (김민나, 권상운, 이경호, 2012). 분석틀을 개발하는 과정에서 연구자들은 1) 먼저 Eger (1989)의 논의에 따라 물리학(과학) 교재의 유형을 크게 도구적 타입과 반성적(해석학적) 타입으로 명명하여 분류하고자 하였다. 2) 이에 Eger의 논문에서 각각의 유형에 해당하는 키워드를 추출하였고, 3) 키워드가 포함된 문장들을 탐색하고 정리하였으며, 4) 각 유형의 특징들을 범주화 하고, 범주화 된 각 항목의 특징들을 구체적으로 정리하였다. 이와 같은 과정에서 개발된 분석틀은 Eger의 논문을 검토하였던 1인의 물리교육 전공의 박사 학위자, 교재 개발 및 연구에 대한 경험이 있는 박사과정 대학원생 3인, 그리고 현직교사가

포함된 석사과정 대학원생 6인에게 타당도를 검토 받았다.

본 연구자는 이처럼 개발된 물리학 교재 분석틀을 활용하여 지속적으로 교재 연구를 수행해 왔으며, 연구를 수행해오면서 분석틀을 더욱 발전시키고 정교화 시켜야 할 필요성을 느끼게 되었다. 이에 본 연구를 수행하면서 본 연구자는 개발된 분석틀이 더욱 일반물리학 교재의 특징적인 측면들을 잘 분석하고 파악할 수 있도록 그 내용을 정교화하고 확장시켰다. 본 연구에서 정교화 되어 분석에 사용된 물리학 교재 분석틀은 다음과 같다.

[표 V-2] 일반물리학 교재 분석틀

	도구적(instrumental) 유형	반성적-해석학적 (reflective-hermeneutical) 유형
과학의 관심 (과학의 가치)	기술적(technical) 관심 실용적인(pragmatic) 과학 (오직 과학의 경제적 가치)	우주론적(Cosmological) 관심 상호 및 자기 이해를 위한 과학 (결과의 의미, 타당성에 대한 추구)
내용 구성 (지식의 범위 & 스토리라인)	상대적으로 제한된 영역의 사실적 지식들 및 문제 풀이 기술의 강조	우주론, 철학, 역사 및 사회학 등을 고려하는 보다 넓은 맥락에서의 과학적 지식
	짧게 파편화 된 스토리들 및 약한 스토리라인	중심 주제와 주변 주제 사이의 통합적인 관계를 보여주는 강한 스토리라인
서술의 특징	이미 짜여져 있는 지식의 전달 “수사학적 결론”	학생들의 과학에 대한 이해의 지평을 넓혀주는 방식
관계된 철학(Pilosophy)	과학주의 (자연을 통제)	해석학 (자연을 이해, 설명)

위의 분석틀은 3가지 항목으로 이루어져 있다. 첫 번째 항목은 물리학 교재가 바탕에 두고 있는 과학의 관심이 어떠한가에 대한 것이다. 두 번째 항목은 물리학 교재 내용의 구성과 관련된 항목으로, 물리학 교재가 담고 있는 지식의 범위가 어디까지인지, 그리고 그러한 내용을 구성하는 데 있어 어떠한 스토리라인의 특징을 보이는지가 이 항목에 속한다. 마지막으로 세 번째 항목은 물리학 교재 본문의 서술 방식의 특징과 관련된 항목으로 어떤 방식으로 교재의 텍스트가 서술되었는지 살펴보는 항목이다. 마지막으로, 각각의 유형의 교재는 그와 관련되어 있는 철학을 기반으로 하고 있는 교재로 생각할 수 있다.

각각의 유형에 대한 설명의 예를 들자면, 만약 물리학 교재가 도구적인 유형의 교재라면, 그 교재는 물리학을 가르치는 데 있어 물리학의 기술적 관심 및 실용적 차원의 가치에만 중점을 두고 있을 것이다. 그러한 교재는 물리학 내용 지식을 다루는 데 있어서 간결하게 사실적 지식들만을 다루고자 할 것이며(어쩌면, 과학적 지식이 자연에 대한 사실 기술인 것처럼 다루거나 혹은 쓸모 있게 적용될 수 있는 과학적 지식에 대해서만 다룰 수 있다), 학생들에게는 이러한 과학적 지식을 활용하는 문제 풀이 훈련에만 초점을 맞추어 강조할 것이다. 또한 그 내용이 서술되는 방식에서도 건조하면서도 간결하게 결론적인 내용을 전달하는 '결론적 수사학'(rhetoric of conclusion)의 방식을 가지고 있을 것이다.

반면에 물리학 교재가 반성적 유형의 교재라면, 그 교재는 우주론적 관심에서 좀 더 자연과 인간에 대한 본질적인 이해를 추구할 것이며 단순히 지식을 습득하기만 하는 것이 아니라 그 의미나 타당성 등을 따져나갈 것이다. 다루고 있는 지식도 결론적 지식보다는 우주론적, 철학적, 사회적, 역사적 맥락 등 더 넓은 맥락 속에서 과학 지식 다루게 될 것이며, 이러한 것들이 강한 스토리라인으로 분절적이지 않고 통합적으로 다뤄지게 될

것이다. 그리고 이러한 교재는 결론적인 수사학의 서술 방식보다는 학생들의 과학과 자연에 대한 이해의 지평이 넓어질 수 있게 하는 방식의 서술 방식을 갖출 것이다.

이와 같은 분석틀에서 주의해야 할 것은, 각 유형 아래에 있는 항목의 내용들 자체의 유무가 그 유형을 결정하는 것으로 보는 것은 바람직하지 않다는 것이다. 예를 들어, 도구적 유형에 속하는 내용에 문제 풀이나 혹은 물리학 지식의 실생활에 대한 응용 등이 있지만, 물리학 교재에 이러한 내용이 있다고 하여 그 교재를 단순히 도구적 유형의 교재라 판단하지는 않는다. 오히려 물리학 교재가 물리학의 본질적인 질문인 자연에 대한 이해, 물리학 지식의 의미 등의 내용을 추구하며 가르치면서 그와 함께 문제 풀이에 대한 연습을 제공하거나 혹은 물리학 지식의 적용 등을 설명한다면 그것은 충분히 우주론적 관심을 기반으로 한 도구적 유형의 교재라고 볼 수 있을 것이다. 그러나 정말로 도구적 유형의 물리학 교재라면, 본 연구에서 강조하고 있는 물리학의 본질적 문제들은 드러내지 않고 오로지 문제 풀이를 훈련시키는 것에 그치거나 또는 물리학의 적용에 방점이 찍혀 있는 물리학 교재가 될 것이다.

이와 같은 분석틀의 이해는 하나의 집을 짓는 것에 비유하여 이해될 수 있다고 본다. 물리학 교재의 유형들을 하나의 집으로 본다면 각 항목들의 내용들은 그 집을 짓는 재료로 볼 수 있다. 재료가 집의 모양이나 집의 구조를 결정하지는 않는다. 같은 재료로 얼마든지 다른 구조나 모양의 집을 지을 수 있다. 이처럼 분석틀의 각 항목들의 내용들은 단지 교재의 재료일 뿐이며, 교재의 유형(혹은 성격)을 결정해주는 것은 이러한 내용 요소들이 어떻게 구성되고 어떻게 강조되고 있는지에 달려있다고 볼 수 있다.

본 연구는 앞서 분석한 Cooper 일반물리학 교재의 특징들을 이와 같은 분석틀에 비추어보고 그것들을 각 항목들과 관련지어 체계적으로 그리고

총체적으로 이해하고자 하였다. 이러한 일반물리학 교재 특징의 재분석에는 본 연구자 외 1명의 물리교육 박사 학위자와 1명의 박사과정 대학원생 (과학교육의 철학적 논의 주제를 연구하고 있으며 텍스트 연구 경험이 있는)이 함께 참여하여 지속적인 논의를 통해 결론을 도출하였고, 결과의 타당도를 검토하였다.

2. 연구 결과

2.1. 물리학 교재가 드러내는 우주론적 관심

먼저 과학의 관심 혹은 과학의 가치 차원에서 Cooper 일반물리학 교재의 특징들을 살펴보면, Cooper 일반물리학 교재는 과학의 우주론적 관심 (cosmological interest)에 기반으로 하여 저술되었고 볼 수 있다. 구체적으로, Cooper 일반물리학 교재는 학생들에게 물리학을 가르침에 있어서 물리학의 유용성이나 물리학의 기술적 측면만을 강조하기 보다는, 그저 자연을 이해하고자 하는 물리학의 본질적인 관심과 목적을 더욱 강조하고 있음을 의미한다.

기존에 일반물리학 강의들에서 전형적으로 사용되었던 다른 일반물리학 교재들을 살펴보면 Cooper 일반물리학과 같이 우주론적 관심을 드러내기보다는 대부분 과학의 기술적인 관심 (technical interest)을 드러내고 있는 경우가 많은 것을 발견할 수 있다. 예를 들어 학생들이 일반물리학 교재로 많이 사용하였던 Serway & Vuille의 일반물리학의 경우, 교재의 서문에서 교재의 목표에 관하여 다음과 같이 설명하고 있다.

The main objectives of this introductory textbook are twofold: to provide the student with a clear and logical presentation of the basic concepts and

principles of physics and to strengthen an understanding of those concepts and principles through a broad range of interesting, real-world applications. To meet those objectives, we have emphasized sound physical arguments and problem-solving methodology. At the same time we have attempted to motivate the student through practical examples that demonstrate the role of physics in other disciplines. (Serway & Vuille, 2011, p.ix)

Serway & Vuille 일반물리학 교재는 학생들에게 명확하게 물리학의 개념과 원리들을 설명하고 이를 통해 학생들이 다양한 문제 상황에 적용하여 문제를 풀어낼 수 있도록 하는 것을 목표로 한다고 밝히고 있다. 특히 학생들이 물리학에 대한 학습 동기를 고취시키기 위해 물리학이 다른 영역에서 어떻게 역할을 하는지에 대한 실제적이고 실용적인 예들을 학생들에게 소개하는 방식을 사용하였다고 말한다. 이것은 마치 중등 물리교육에서 학생들이 물리학에 대한 흥미를 잃어가고 물리학 선택이 저조함을 극복하기 위해 물리 교육과정에 물리학이 우리의 실생활과 가까운 곳에서 어떻게 쓰이고 있는지 - 예를 들면, 스마트폰의 반도체, 디스플레이 등 - 를 다루는 내용을 추가하는 것과 유사한 시도로 보인다. 또한 최근까지 일반물리학 교재로 주로 쓰이는 Halliday & Resnick 일반물리학 교재의 경우 역시 교재의 서문을 통해 비슷한 과학의 기술적 관심을 드러내고 있다.

Fun with a big challenge. ... this has everything to do with your life - this is physics." ... Physics is the most interesting subject in the world because it is about how the world works, and yet the textbooks had been throughly wrung of any connection with the real world. The fun was missing. ... I have many goals in writing this book but the overriding one

is to provide instructors with tools by which they can teach students how to effectively read scientific material, identify fundamental concepts, reason through scientific questions, and solve quantitative problems. (Halliday & Resnick, 2013, p. xvii)

Halliday & Resnick 일반물리학 교재의 서문에서 저자는 물리학이 우리의 삶에서 무엇이든 할 수 있는 것이라 말하며 우리의 실제 삶과 연결되어 있을 때 흥미롭고 재미있는 것이라 하고 있다. 그러면서도 교재의 목표는 학생들이 과학 자료들을 효율적으로 읽고, 개념을 익히며, 문제들을 풀 수 있게 하는 것이라 말하고 있다. 이와 같은 Halliday & Resnick 일반물리학 교재의 저술 의도를 생각하면, 우리 삶에서 물리학을 가지고 무엇이든 할 수 있다라는 생각이나, 교재의 목표가 물리학 개념을 통해 과학적 자료들을 잘 읽어낼 수 있으며 문제를 풀 수 있도록 하는 것이라는 점에서, 이와 같은 교재는 물리학에 대하여 상당히 도구적인 관점을 가지고 있는 교재라고 생각이 된다.

물론 물리학이 주는, 그리고 물리학으로서만 획득될 수 있는 유용성에 대한 것은 당연히 무시할 수 없다고 본다. 홍은숙(2007)이 제안한 내재적 유용성과 외재적 유용성에 대한 개념에 비추어 볼 때, 반도체나 LED, 혹은 레이저 등의 기술적인 응용이나 유용성은 분명 물리학을 통해서만 실현될 수 있는 물리학의 내재적인 유용성에 속한다고 볼 수 있을 것이다. 그러나 한편으로 그것이 정말 물리학의 본질적인 목적인지 자문한다면, 아마도 그것은 물리학의 발전에 의한 결과라 볼 수 있으며, 물리학의 목적이라고는 말하기 어려울 것이다. 다시 말하자면, 물리학의 목적은 자연현상에 대한 이해와 그 설명에 있는 것이지, 우리 삶에 유용한 각종 도구들을 만들어주는 것이 아니라는 것이다.

이런 점에서 볼 때, 기존에 학생들이 많이 사용하였던 대표적인 일반물리학

교재들은 학생들에게 물리학의 본질적인 목적인 자연의 이해와 설명에 대한 부분을 매우 간략하게 제시하는 특징이 있다. 마치 학생들에게 물리학 내용 지식이 이미 자연현상에 대한 설명을 완료한 것처럼 제시하고, 그것이 응용되어 얼마나 우리 삶에 유용한 것들이 만들어졌는지, 그리고 학생들이 해야 할 것은 우리 주변에 산적해 있는 여러 문제들을 배운 물리학적 지식을 통해 해결하는 것이라고 말하는 듯 하다. 이런 측면들이 본 연구자로 하여금 기존에 사용되는 일반물리학 교재들이 기술적 관심에 기반으로 하여 실용적 측면만을 강조하고 있다 보게 하는 것이다.

그러나 이와 같이 실용적이고 기능적인 측면을 강조하는 교육에 대해서 이전부터 많은 연구자들이 우려하며 비판의 목소리를 내온 바가 있다. 예를 들어 Niel Postman(1995)은 많은 사람들이 학교교육의 중요한 이유로 여기는 것으로 '경제적 가치의 신(God of Economic Utility)'을 이야기한다. 그는 이와 같은 경제적 가치의 신을 바탕으로 학교교육의 목표가 학생들에게 경제생활을 위한 경쟁력을 준비시키고 있으며, 이러한 목표를 위해 조직된 것이 아니라면 아무런 의미가 없는 것으로 여기고 있다고 진단하였다. 이와 관련하여, 김용식(1995)은 이러한 생각들이 현대 우리 사회의 지배적인 도구적 이성(instrumental rationality)과 관련이 있다고 이야기한다. 그는 이러한 도구적 이성이 지식들을 도구화 하고, 궁극에는 실리주의(Utilitarian)로 전락할 수 있으며, 이것이 심화되었을 때 인간마저도 수단으로 전락시켜 결국은 인간 소외의 현상을 초래할 수 있다며 그 위험성을 지적한 바 있다.

반면에, Cooper 일반물리학 교재를 살펴보면, 전형적으로 많이 사용되고 있는 여타 일반물리학 교재들과는 달리 물리학의 기술적, 실용적 측면에 대한 이야기를 거의 하지 않는다. Cooper 일반물리학 교재에게 있어서 학생들에게 물리학을 가르치는데 중요한 것은, 학생들이 물리학 자체를 잘 이해하고 이를 통해 자연에 대해 이해해가는 것이다. Cooper가 저자 서문에 밝힌 내용을 다

시 한 번 살펴보자.

I have tried, in all, to present physics as one attempt made by human beings to organize their experience—different in technique, but not totally different in outlook from that of the painter, for example, whose canvas is often his organization of his experience of light and color. It seems to me that important physics, as important painting, imposes the vision of the scientist/artist on the raw data, in principle available to everyone. A generation or two later the world appears to us as that vision. (Cooper, 1992, p. xii)

일반물리학 교재는 물리학이 얼마나 우리의 생활에 유용하게 사용될 수 있는지, 그리고 그것을 위해서 학생들이 물리학 개념을 응용하여 문제 풀이 연습을 얼마나 해야 하는지 등을 강조하지 않는다. 오히려 물리학이 우리의 경험들을 어떻게 조직화하고 물리학 이론이나 개념들을 형성하는지, 그리고 각 이론이나 개념들의 그렇게 형성되었던 데에는 당시의 과학자들의 자연을 바라보는 관점이 바탕을 이루고 있다는 것을 강조한다. 다시 말해 Cooper 일반물리학 교재는 물리학적 지식이 어떻게 활용될 수 있는지, 그리고 다양한 문제 풀이를 위한 테크닉들은 어떤 것이 있는지 등 기술적이고 실용적인 관심보다는 주로 학생들이 물리학 이론 자체를 그 맥락 속에서 더욱 깊이 있게 이해하는 좀 더 본질적인 관심이 그 바탕을 이루고 있다고 볼 수 있다. 즉, Cooper 일반물리학 교재의 저자 Cooper가 교재를 통해 의도하는 물리교육적 지향은 독자들에게 실용적이고 현실적 차원에서 물리학 지식들을 결론적으로 가르치는 것이 아닌, 물리학 지식을 좀 더 본질적이고 다양한 맥락 가운데 배움으로써 독자들이 물리학뿐 아니라 자연에 대한 이해가 깊어지며 또한 그 자연을 이해하고자 하는 인간의 노력을 배워가는 과정 속에서 자연과 관계

맺는 자신에 대한 이해까지 추구하는 것이라 볼 수 있다. 특히 Cooper 일반 물리학 교재가 이와 같이 물리학의 본질적 목적을 보이는 방법은, 물리학이라는 인간 활동의 본질이 무엇인지를 화가가 그림을 그리는 비유로 설명하며, 이를 통해 자연과의 관계 속에서 물리학이 추구하는 바가 무엇인지 보여주는 것이다. Cooper는 Niaz와의 인터뷰 연구에서 물리학에 대한 본인의 이와 같은 관점에 대해 다음과 같이 이야기한다.

I believe, in some ways, the scientist can be compared to the painter. The impressionists, for example, were accused of not being able to see things as they are. But, having imposed their way of viewing—their vision of the world—it has become a cliché now to see things as the impressionists did. Consider, for example, many magazine ads. (Cooper's statement, Niaz et al., 2010, p. 48)

그림을 그리는 것은 어딘가에 유용하게 써먹기 위함이 아니다. 단지 화가가 본 대상을 화가의 생각과 관점을 담아 그의 그림 도구로 표현하는 것이며, 그것을 다른 사람들에게 전하고자 하는 것이다. 게다가 그림은 사진이 아니기에 화가가 본 대상의 그 실재를 온전히 동일하게 담아내지 못한다는 점도 있다. 다만 화가가 이해하고 설명할 수 있는 방식대로 그 대상을 그려내는 것이다. Cooper는 물리학이 바로 이와 같은 화가의 작업과 동일하다고 표현하면서, 물리학 이론이 자연에 대한 것을 그대로 말하는 것이 아니라는 점, 그리고 물리학자의 자연을 바라보는 관점이나 이해방식이 그대로 녹아 있는 것이라는 점 등을 전하고 있다. 그리고 결국 앞서 언급한 것처럼 화가의 목적이 관찰한 것이나 떠오른 것을 그림으로 표현하고 전하는 것처럼, 물리학의 목적 또한 자연세계에 대한 이해를 설명하고 표현하는 것임을 드러내고 있다. 바로 이런 점에서 Cooper 일반물리학 교재는 물리학의 본질적이고 본래적인

목적 혹은 가치를 드러내고 있다고 볼 수 있으며, 이에 Cooper 일반물리학 교재는 우주론적 관심을 바탕으로 둔 교재라 볼 수 있는 것이다.

그런데 이와 같이 우주론적 관심이 그 바탕을 이루고 있는 물리학 교재에 대하여 누군가 기술적 관심의 측면은 무시해도 좋은 것인가라고 반박할 수도 있다. 특히 기술적 관심에서 강조하고 있는 문제 해결 능력 등은 물리학을 학습하는데 있어서 매우 중요하게 다뤄야 하며 교재 역시 연습문제 등을 통해 이러한 부분은 훈련시켜야 함을 간과해서는 안 된다고 주장할 수 있다. 본 연구에서 물리학 교재의 총체적인 분석에 대한 기초적인 아이디어를 제공한 Eger(1989)는 근본적인 2가지의 양극단의 과학의 관심(interest of science), 즉 기술적(technical) 관심과 우주론적(cosmological) 관심을 제안하였다. 그는 과학은 이러한 두 가지 관심을 모두 가지고 있으며 현대의 과학교육은 과학의 기술적 관심에만 주로 초점을 맞추고 있고 우주론적 관심은 상대적으로 매우 억압 되어 있다고 말한다. Eger의 주장은 그동안 상당히 억압되어 왔던 우주론적 관심을 다시 회복시키고 과학교육에서 이러한 두 가지 관심의 균형을 맞추어야 한다는 것이다. 이와 같이 두 가지 관심의 균형과 관련하여 물리학 교재가 연습문제를 통해 문제 해결 능력을 기른다던가, 물리학의 다양한 응용들을 아는 것의 중요성에 대해서는 본 연구자도 인정하는 바이다. 그것들 역시 물리학을 가르치고 배우는 데 있어서 중요한 요소이며 결코 간과해서는 안 된다고 본다. 그런 의미에서 보았을 때, Cooper 일반물리학 교재도 완벽하다 볼 수는 없다. Cooper 일반물리학 교재에도 연습문제가 있지만, 다양한 문제 상황들을 접하고 물리학적 설명들을 익히기엔 부족하다고도 볼 수 있다. 또한 Cooper 일반물리학 교재에는 물리학 내용 지식들이 우리의 삶에 어떻게 연관이 되어 있는지 그 응용과 유용성에 대한 내용은 다루고 있지 않다. 이런 점에서는 Cooper 일반물리학 교재 역시 더욱 보완해 나가야 할 필요가 있다고 볼 수 있다. 그러나 중요한 것은 이러한 문제풀이

나 물리학의 응용적 측면들이 중요하다고 해서 그것들이 중심이 되어 강조되고, 자연에 대한 이해와 설명의 노력은 축소된다면 그것은 물리학의 목적과 관련되어 생각할 때 본말이 전도된 상황이라 볼 수 있을 것이다. 또한 본 연구에서는 문제풀이나 물리학의 응용에 대한 내용 자체가 기술적 관심이라고 여기지 않는다. 앞서 계속 논의한 것처럼, 물리학 교재가 물리학의 본래적 목적인 자연에 대한 이해와 설명을 잃어버리고 문제풀이 및 응용에만 강조점을 둔다면, 그 교재는 기술적 관심을 바탕으로 둔 교재이다. 본 연구는 우주론적 관심에 바탕을 둔 물리학 교육이 잘 이루어진다면, 이와 같은 문제풀이 등의 요소들도 충분히 실현될 수 있는 것이라 본다. 이것을 다른 말로 표현하자면, 학생들에게 물리학의 실천전통을 온전히 가르칠 수 있다면 이를 통해 기술적 측면의 물리학의 특징들도 자연스럽게 통합적으로 가르쳐질 수 있다고 보는 것이다.

이와 같이 교육의 맥락에서 본질적이고 근본적인 질문과 가치에 관심을 두었을 때 여타 기술적 관심에서의 가치들이 함께 실현되는 좋은 예로서 Palmer (1998)가 설명하였던 의과대학에서의 사례를 들고자 한다. Palmer는 어느 의과대학에서 있었던 본질적인 주제를 중심으로 한 교육의 성공사례를 소개한 바 있다. 그 사례에서 등장하는 한 의과대학의 학장은 학생들이 입학할 때 가졌던 환자에 대한 동정심 등은 사라지고 졸업을 앞둔 시기에는 오직 환자를 수리해야 하거나 지나쳐야 할 대상 정도로 무관심하게 보게 되는 사태에 대한 문제를 인식하였다.

의과대학장과 동료 교수들은 환자를 대상화하고 학생들을 '바보로 만드는' 것만 우려한 게 아니었다. 그들은 학생들로 하여금 환자의 치료라는 목적보다는 경쟁에서의 승리라는 목표에 더 집착하게 만드는 교육 문화를 개탄했다. 그런 문화 때문에 아주 서글픈 결과가 나왔다. (Palmer, 1998, 이종인, 이은정 역, p. 229)

이와 같은 문제를 해결하기 위해 학장과 동료 교수들은 새로운 교수법을 제안하여 실천했는데, 그 방법의 핵심은 의과 대학 입학 첫날부터 학생들을 중병 환자 주위에 둘러서게 한 후에 직접 그들이 환자의 상태를 진단하고 그 치료 방법을 처방하도록 하는 것이었다. 그리고 그러한 학생들의 소그룹에는 스승이 한명씩 배치되어 학생들이 환자에게 폐를 끼치지 않도록 감독하는 한편, 학생들이 중대한 관심사인 '환자와 질병, 그리고 건강'의 문제를 집단적으로 탐구할 수 있도록 유도하는 것이었다. 이러한 새로운 교수법 제안에 대해 많은 논란이 있었으며 그것을 반대하는 입장에서는 주요한 문제점을 지적하였다. 그것은 새로운 교육 방법이 환자들에 대한 학생들의 태도를 개선시킨 할 것이지만, 학생들의 시험 평균점수를 낮추게 될 것이라는 지적이었다. 새로운 교육법이 '객관적인 지식을 무시하는' 그 점 때문에 학교와 학생 모두를 위태롭게 할 것이라고, 결국 학교와 학생은 시험 점수가 말해주는 것이라고 주장하였다. 그러나 막상 이러한 교육법이 실천되고 난 후의 결과는 그들의 예상과 다르게 나타났다. Palmer는 이 결과에 대해 의과 대학 학장의 말을 통해 다음과 같이 전하고 있다.

의대생의 직업윤리와 병상 매너가 좋아질 것이라는 반대파측의 예측은 정확했습니다. 몇 년 동안 저널에서 의학 논문이 찢겨져 나가는 사례가 발생하지 않았습니다. 또 환자들도 의대생들의 매너가 아주 도움이 된다고 말했습니다. 그러나 객관적인 시험 결과에 대한 반대파들의 예측은 틀린 것으로 나타났습니다. 시험 성적은 떨어지지 않았습니다. 오히려 올랐습니다. 우리가 이런 새 교육 방법을 도입한 이래 시험 성적은 꾸준히 올랐습니다. 이런 의학교육을 실시하니 학생들은 환자들을 더욱 배려할 줄 알게 되었고, 점점 더 똑똑해지고 기민해졌습니다. (Palmer, 1998, 이종인, 이은정 역, p.232)

이와 같은 사례를 통해 우리는 핵심적이고 본질적인 주제 - 이것을 Palmer 는 위대한 사물(the great things)이라고 부른다 - 에 관심을 가지고 이와 같은 주제로 학생들을 집중시키는 교육, 다시 말해 우주론적 관심을 기본으로 한 교육이 기술적 관심이 가치를 두고 있는 좋은 시험 성적이라는 부분까지도 실현할 수 있음을 확인할 수 있다. 즉, 물리학의 본래적 가치를 지향하는 우주론적 관심의 교육이 잘 이루어질 때, 기술적 관심이 중점에 두고 있는 문제 풀이 등의 가치도 함께 실현될 수 있다는 것을 시사하는 것이다.

이런 점에서 보았을 때, Cooper 일반물리학 교재는 학생들에게 물리학을 가르침에 있어서 자연에 대한 이해와 설명이라는 그 본질적인 가치와 목적을 중심에 두고 있는 교재이며 Cooper 일반물리학 교재가 보이는 이와 같은 우주론적 관심을 바탕으로 하여 자연에 대한 온전한 이해를 추구해나갈 때, 물리학 문제 풀이나 응용 등의 측면들도 함께 성취해낼 수 있을 것이라 기대할 수 있다.

2.2. 총체적 맥락에서의 물리학 지식과 하나의 큰 스토리라인

다음으로는 물리학 교재의 내용 구성 즉, 지식의 범위나 그것이 연결되는 스토리라인의 측면에서 Cooper 일반물리학 교재의 특징이 어떻게 이해될 수 있는지를 살펴보고자 한다. 이와 같이 물리학 교재의 내용 구성의 측면에서 보았을 때, Cooper 일반물리학 교재 본문 내용의 특징은 "물리학을 잘 안다는 것이 무엇인가?"라는 질문에 대한 교재의 남다른 답변을 제안하고 있는 것으로 보인다. 물리교육은 일차적으로 학생들이 물리학을 잘 알게 되는 것 혹은 잘 이해하게 되는 것을 목표로 한다. 그래서 물리교육자들은 학생들이 물리학을 잘 알게 되기를 혹은 물리학을 잘 이해하게 되기를 바라며 물리수업을 하거나 물리교재를 저술한다. 그렇다면 Cooper 일반물리학 교재는 어떤 것이 물리학을 잘 안다는 것이라 드러내고 있는가?

본 연구의 결과에 의하면, Cooper 일반물리학 교재는 원자의 구조와 관련된 물리학 내용을 가르침에 있어서 단지 원자의 구조 모형의 결론적 지식을 전달하는 것으로 그치지 않았다. 교재는 19세기 말에서 20세기초의 역사적 흐름 속에서 원자에 대한 당시 물리학자들의 탐구의 과정을 보여주며 원자의 구조에 대한 물리학 내용 지식의 배경 맥락에서부터 시작하여 그 지식들의 핵심적 의미가 무엇인지까지 전해주고자 하고 있다. 특히 교재는 원자 모형과 관련되어 왜 그 과학자가 그렇게 생각하게 되었는지, 당시의 질문이 무엇이었는지를 잘 보여주고 있으며, 이러한 질문에 대한 답을 하는 가운데 원자 모형의 의미는 원자가 어떻게 생겼는지를 넘어 그러한 원자 모형이 담고 있는 당시 과학자들의 자연에 대한 이해 방식이나 혹은 의도 같은 의미까지 담아내고 있다. 또한 Cooper 일반물리학 교재는 이렇게 역사적 흐름으로 내용을 저술하면서 자연스럽게 물리학의 과정에 대해서도 생생하게 보여주고 있다. 특히 일반적으로 물리학의 방법을 단순히 경험적이고 실험적인 데이터들의 축적이라 인식하는 경우가 많은데(Niaz, 2010), Cooper 일반물리학 교재는 이와 다르게 20세기 초의 원자의 구조에 대한 탐구의 흐름 속에서 과학자들의 사고과정이나, 논쟁들, 경험적 관찰과 이론의 대립, 그리고 이론의 변경 등 복잡한 물리학의 과정들과 물리학자들의 사고방식 등을 잘 보여주고 있다. 뿐만 아니라 지속적으로 물리학 이론이나 혹은 물리학 학문 자체에 내재되어 있는 철학적 맥락 등도 본문의 흐름 속에서 다루고 있다.

이런 점들을 볼 때, Cooper 일반물리학 교재가 보여주는 물리학을 잘 안다는 것은, 단지 물리학 내용 지식의 결과만을 알고 그것들을 축적해나가는 것이 아니라, 물리학 내용 지식의 배경, 그 의미, 그리고 그것의 과정 등의 총체적인 맥락을 이해하는 것을 말한다. 특히 Cooper 일반물리학 교재는 '원자의 구조' 단원을 보았을 때 이러한 점들을 원자의 본질에 대한 탐구라는 하나의 큰 이야기 흐름으로 구성하여 펼쳐내고 있다는 점이 주목할 만한 특징이

라 보인다.

이러한 Cooper 일반물리학의 관점은 기존에 학생들이 많이 접하였던 일반물리학 교재들의 관점과는 상당히 다르다. 예를 들어 국내에서 일반물리학 강의의 주된 교재로서 가장 많이 사용되고 있는 Halliday & Resnick 일반물리학 교재의 경우 서문에서 교재의 목표에 대해 다음과 같이 이야기함으로써 저자가 생각하는 물리학을 잘 배우고 잘 안다는 것이 무엇인지 드러내고 있다.

I have many goals in writing this book but the overriding one is to provide instructors with tools by which they can teach students how to effectively read scientific material, identify fundamental concepts, reason through scientific questions, and solve quantitative problems. (Halliday & Resnick, 2013, p. xvii)

Halliday & Resnick 일반물리학 교재의 저자는 일반물리학 교재의 가장 중요한 목표를 학생들이 물리학 관련 자료들을 효과적으로 잘 알고, 물리학 개념을 익히고 문제 풀이를 잘 할 수 있도록 하는 것이라고 이야기한다. 이러한 목표 하에 교재의 내용은 간결하고 명확하게 물리학 개념이나 이론의 내용을 전달하고 있으며, 물리학 내용들도 서로 분절되어 있거나 맥락 없이 나열되는 방식으로 구성되어 있다. 또한 다양한 예제 및 연습문제들을 상당수 제공하며 학생들이 문제 풀이 능력을 기르는 것을 강조하고 있는 모습을 볼 수 있다. 이를 통해 기존에 학생들이 많이 접하는 일반물리학 교재에서는 물리학 개념 및 이론의 내용들을 숙지하고 그것들을 잘 응용하여 다양하고 복잡한 문제 상황들을 풀어낼 수 있다면 물리학을 잘 안다 혹은 물리를 잘 한다 여기는 것으로 보인다. 실제로 대부분의 학생들이 물리학을 잘 안다라는 것을 판단하는 기준을 이와 같이 다양한 문제들을 잘 풀 수 있는가로 정하는

것을 많이 볼 수 있다. 그러나 학생들이 문제를 아무리 잘 풀고 많이 풀어도 물리학 개념에 대한 이해에 어려움을 계속 겪는다는 연구들이 (Kim & Pak, 2002; Byun & Lee, 2014 등) 최근까지 과학교육에서 이루어진 바 있다는 점은 문제 풀이 훈련에 집중하게 하는 것이 물리학을 잘 하게 하는 것과는 크게 가깝지 않을 것이라는 점을 시사한다고 본다.

이와 같이 물리학 개념을 배우고 그것을 응용하여 문제 풀이에 집중하도록 하게 하는 관점은 마치 Cooper가 지적했던 것처럼 테니스 선수를 키우는 방식으로 학생들에게 물리를 가르치는 것이라 할 수 있다. 이에 대한 Cooper의 생각을 살펴보면 다음과 같다.

One of the problems in teaching physics to physicists is that there is so much technique one has to communicate that you can't spend much time discussing where these techniques come from. You might compare physicists to tennis players. If you are trying to teach young tennis players, you teach them how to hit the various shots as well as possible. You don't emphasize the history of the sport, and you certainly wouldn't start them out with a 19th century wooden racket. You teach the latest possible techniques so the player can get on the courts. If they are going to compete in Wimbledon or the U.S. Open, this is what they have to learn should be a distinction between teaching physicists and non-physicists, but I don't believe that this is always made. In any case, one has the problem of bringing the young physicist / tennis player onto the court as soon as possible and this encourages teaching as many techniques as possible without a great emphasis on where the ideas come from. However, I believe, that the physicist-to-be profits enormously from some understanding of how the ideas developed. (Cooper's statement, Niaz et al. 2010, p.41)

Cooper는 물리교육에 있어서 학생들에게 가르쳐야 할 물리학의 기술적 측면들이 너무 많다고 말한다. 학생들이 물리학 개념과 이론을 숙지하고 그것들을 잘 응용하여 문제를 풀어내는 훈련을 하기에다 벅차다는 것이다. 그래서 학생들이 자신들이 물리학을 학습하면서 자신들이 배우는 물리학 개념이나 혹은 문제에 접근하는 방식 등이 어디로부터 비롯되었는지를 생각해보고 따져볼 수 있는 기회가 거의 주어지지 않음을 지적한다. 그리고 그는 테니스 선수를 양성하는 방식과 물리학자를 양성하는 방식을 비교하면서 자신의 생각들을 소개한다. 이러한 그의 설명의 맥락을 보았을 때, Cooper는 기존의 개념 숙지 및 문제 풀이 훈련은 테니스 선수를 양성하는 방식의 물리교육이라 여기는 것으로 보인다. 는 테니스 선수든 물리학도이든 단지 최대한 빠르게 그 분야의 현장으로 들어가 일익을 담당할 수 있도록 많은 테크닉들을 훈련시키는 것이 바로 문제라고 지적하고 있다. 특히 물리학을 공부하는 학생들의 경우 물리학의 아이디어들이 어떻게 발전되었는지 이해하는 것이 매우 큰 유익을 줄 수 있을 것이라 이야기한다. 이러한 Cooper의 관점은 다음과 같은 그의 말에서 더욱 직접적으로 나타난다.

The traditional method is faster and more technique can be crammed into a given time. And people tend to emphasize technique at the expense of ideas. And, as I said above, if you're going to train physicists, you have to be sure that they master the techniques. However, if they are going to be important scientists, they're going to have to take things apart. It's extraordinarily valuable to see how that was done in the past. (Cooper's statement, Niaz et al. 2010, p.44)

위의 언급에서 Cooper는 직접적으로 학생들이 물리학을 배우면서 물리학

이론들이 어떻게 해서 그렇게 발전되어 왔는지 살펴보는 것이 중요한(혹은 인류에 큰 영향을 미칠 수 있는) 물리학자가 되는데 필수적이라고 이야기한다. 결국 Cooper에게 있어서 물리학을 잘 아는 것은 단지 물리학 개념을 알고 문제를 잘 풀어낼 수 있기만 하면 되는 것이 아니라 그러한 물리학 개념들이 어떻게 형성되고 발전되었는가를 파악함을 통해서 그 개념 혹은 이론이 궁극적으로 말하고자 하는 바가 어떤 것인지를 이해해 나가는 것이 물리학을 잘 아는 것이라 볼 수 있다. 이렇게 물리학 이론 혹은 개념의 의미를 전달하고자 하는 Cooper의 의도는 그의 일반물리학 교재의 부제에서 강조하는 두 키워드 중 하나가 의미(meaning)라는 점에서 잘 드러나고 있다. Cooper는 자신의 물리학 교재의 부제를 통해 강조하고 있는 의미, 즉 물리학의 의미와 관련하여 다음과 같이 이야기한다.

The vision of the scientist is related to the meaning of theory. For example, the Newtonian vision could be a mechanical universe governed by forces and bodies in motion. ... Quantum theory provides a different (not necessarily improved) vision. I believe, in some ways, the scientist can be compared to the painter. The impressionists, for example, were accused of not being able to see things as they are. But, having imposed their way of viewing—their vision of the world—it has become a cliché now to see things as the impressionists did. Consider, for example, many magazine ads. (Cooper's statement, Niaz et al., 2010, pp.47–48)

이와 같은 Cooper의 생각에 의하면 물리학 이론의 의미는 그 물리학자의 자연을 바라보는 관점과 관계된 것이다. 따라서 어떠한 물리학 이론이나 개념의 아이디어를 생각해낸 물리학자가 어떤 관점으로 자연을 바라보고 그러한 아이디어를 생각해냈는지를 파악하기 위해서는 Cooper가 강조하듯 당시의 맥

락과 상황으로 돌아가 생각하는 것이 유용하면서도 적절한 방법일 수 있는 것이다.

한편, 이와 같이 물리학을 잘 아는 것에 대한 측면에서 Cooper 일반물리학 교재의 '원자의 구조' 내용 구성에서 드러난 특징은 물리학 교재에 있어서 또 다른 시사점을 전해준다. 그것은 바로 본문 내용이 취하고 있는 이야기 구조에서 비롯된다. 예를 들어 Halliday & Resnick의 일반물리학 교재의 경우 원자의 구조 내용만을 살펴보더라도, 그 내용이 매우 분절적이며 명료하고 간결한 물리학 내용 지식 정보를 전달하는 방식으로 구성이 되어 있다. 그렇기에 담고 있는 내용도 제한적이며 마치 물리학 내용 지식을 사실을 진술하듯 전달한다. 심지어 원자의 구조와 관련한 Thomson, Rutherford, Bohr 등의 원자 모형들에 대한 내용들은 각각 다른 장에 분절되어 퍼져 있기에, 여기에서 어떠한 일관된 스토리 라인의 구조를 생각하기 힘들다.

반면에 Cooper 일반물리학 교재는 물리학자들의 원자 모형들 자체에 초점을 맞추기 보다는, 20세기 초의 시대적 흐름 속에서 원자의 내부 구조를 알아가고자 하는 일련의 탐구의 맥락을 큰 주제로 삼아 본문 내용을 전개하고 있다. 원자라는 자연의 대상을 중심에 둔 하나의 큰 흐름으로 묶인 내용의 조직 혹은 구성이기에 모든 내용들이 유기적으로 연결되어 있으며 여기서 큰 줄기의 일관성 있는 스토리 라인을 발견할 수 있었다. 이와 같이 일관성 있게 유기적으로 연결된 큰 스토리 라인을 통해 독자들이 원자의 구조를 중심으로 한 여러 물리학적 개념들과 이론들의 상호 관계와 그 구조를 통합적으로 그려나갈 수 있을 것이라 기대할 수 있다. 요약하자면, 분절되지 않은 하나의 큰 구조로서 물리학 이론과 개념들을 그려나갈 수 있다는 것이다. 이와 같이 물리학의 구조가 그려진다는 것은 물리학의 의미와 마찬가지로 Cooper 일반물리학 교재의 부제에서 강조하고 있는 다른 하나의 키워드와 관련되어 있다. 즉, Cooper는 그의 일반물리학 교재의 부제에서 드러냈듯 물리학의 구

조(structure)를 학생들이 배우길 바라는 것이다. 그런데, 이처럼 물리학의 구조라는 개념과 관련하여 Cooper는 이론이나 개념들 사이의 관계망으로서의 구조라는 뜻 말고도 다른 뜻으로서의 물리학의 구조도 염두에 두고 있는 것처럼 보인다. 이는 Niaz et al. (2010)이 수행한 Cooper와의 인터뷰 연구에서 구조(structure)라는 단어와 관련하여 저자 Cooper가 밝힌 생각에서 찾을 수 있다.

As I have often stated, science has two components: one is to see the world as it is, to distinguish what actually is from what we might want or desire or believe, and two, to create a structure that relates everything to everything else. Now these structural relations tend to remain constant even when the underlying theories change. (Cooper's statement, Niaz et al., 2010, p.47)

Cooper는 그가 생각하는 과학의 두 가지 중요한 요소 중 하나가 모든 것들을 연결하는 관계를 형성하는 것이라 이야기한다. 그리고 이러한 관계들은 바탕에 둔 이론이 변화하더라도 바뀌지 않는 것이라 이야기한다. 예를 들면 행성 운동에서 태양과 행성의 거리와 공전 주기 사이의 관계(즉, 케플러 제 3 법칙과 관련)는 뉴턴의 이론에서든 아인슈타인의 이론에서든 변하지 않는 것이다. Cooper는 이와 같은 자연에서의 불변하는 구조적 관계를 강조하고 있으며 이것을 학생들에게 가르치고자 하는 것이다. 이런 의미에서 Cooper 일 반물리학 교재는 원자를 주제로 한 일관적인 이야기 흐름을 통해 원자와 관련하여 무엇이 불변하는 구조적인 관계인지를 학생들에게 가르치고자 한다고 볼 수 있다.

또한 이와 같은 이야기의 맥락 속에서 원자 모형이나 물리학 이론과 같은 물리학 내용 지식은 물론이거니와, 물리학의 방법, 물리학 이론이 바탕에 두

고 있는 세계관 또는 철학 등의 내용들도 자연스럽게 녹여내어 독자들에게 원자에 대한 탐구를 둘러싼 총체적인 지식을 전달하고 있다. 최근까지 과학교육 연구에서 과학의 본성이나 과학의 과정 등을 수업이나 교재 등에 포함시켜야 한다는 연구들이 있어왔지만, 실제로 그것들이 교재 등에 어떻게 자연스럽게 녹아져 학생들에게 가르쳐질 수 있는지에 대한 많은 고민과 어려움이 있어왔다. 이런 점에서 볼 때, Cooper 일반물리학 교재의 이와 같은 내용 구성은 과학의 본성이나 과학의 참 모습을 자연스럽게 교재의 내용 안에 녹여서 학생들에게 가르치는 하나의 예시 교재로서도 중요한 의미가 있다고 생각된다.

이와 같이 본 연구에서 드러나는 Cooper 일반물리학 교재의 물리교육에 대한 지향은 우리로 하여금 대학 물리교육에 대해 다시 돌아보게 한다. 결론적 지식의 단순한 전달과 문제 풀이를 강조하는 물리교육 혹은 과학교육은 기존의 많은 연구들로부터 비판받아왔으며 이를 극복하기 위한 다양한 방안들이 연구되어 왔다. 그리고 이러한 연구들을 기반으로 하여 교육과정 및 교과서들 또한, 비록 그것들이 완벽하다고 볼 수는 없을지라도 지속적으로 변화를 추구해왔다. 그러나, 본 논문의 서론에서 밝힌바와 같이, 이러한 연구들의 주제들은 대학 물리교육의 맥락에서는 많이 이뤄지지 않았다. 오히려 대학에서의 물리교육의 목적은 학생들이 물리학 혹은 물리학을 기반으로 하는 학문 영역들의 현장에 나아가 활동할 수 있도록 최대한 많은 물리학 지식을 습득하고 그것을 응용하여 문제를 해결할 수 있는 능력을 기르게 하는 것에 있으며, 따라서 물리교육(과학교육)에서 이루어졌던 교육적 논의들은 대학 물리교육의 맥락과 무관하다고 여겨지는 듯하다. 이와 같은 현상은 Rodríguez & Niaz에 의해 수행된 미국 일반물리학 교재 분석 연구를 통해 잘 드러남을 알 수 있다. Rodríguez & Niaz의 연구에서 미국에서 출판된 일반물리학 교재의 원자의 구조 단원을 분석한 결과 거의 대부분의 일반물리학 교재들은 원자의

구조 내용에 있어서 각 과학자들 - 구체적으로 Thomson, Rutherford, 그리고 Bohr - 의 원자 모형을 결론적 지식으로 소개하고 있음을 보였다. 교재들이 이러한 원자 모형들을 결론적인 지식으로 소개하기 때문에 학생들은 “원자 모형들이 어떠했다”라는 정보만 알게 될 뿐이며 그것의 의미 등에 대해 깊이 있게 생각하고 이해할 수 있는 기회가 없어진다. 또한 원자 모형들의 의미에 대해 논하지 않기 때문에 학생들의 관심은 결국 '무엇이 맞는 원자 모형인가?'에 대한 것에 맞춰지게 되며 교재에서 제공하는 가장 최신의 원자 모형과 그것을 응용한 문제 풀이에 집중하게 된다. 대부분의 많은 일반물리학 교재는 Thomson 및 Rutherford의 원자 모형 자체에는 큰 관심을 두지 않는다. 그것들은 단지 Bohr의 원자 모형이 나오기까지의 과정에 불과하며, 더욱 중요한 것은 Bohr의 원자 모형이 가정하고 있는 가설들과 그것들을 응용하여 원자 내의 에너지 준위 등을 계산하는 것들이다. 그러나 Cooper 일반물리학 교재는 이러한 교재들과는 확연히 다른 방식으로 원자의 구조 내용을 소개하고 있음이 본 연구의 결과를 통해 보여 졌다. Cooper 일반물리학 교재에서는 Thomson과 Rutherford의 원자 모형들도 중요한 의미를 가지고 있다. 그것은 단지 원자 모형이 어떻게 생겼느냐에 대한 이해를 넘어서 물리학이라는 자연을 이해하기 위한 학문이 어떤 것인지를 알 수 있게 해주는 역할도 한다. 또한 두 원자 모형을 둘러싼 과학자들의 아이디어들은 Bohr의 모형이 어떤 의미가 있는지, 그리고 그 의미가 결국 어떻게 해서 양자 물리학 세계의 문을 열게 되었는지 이해하는데 있어서 매우 중요한 역할을 한다.

결론적으로 대학 수준의 물리학 교육 및 물리학 교재에 있어서 학생들에게 물리학을 가르치고 그들이 물리학을 잘 알기를 원한다면, 단지 결론적인 물리학 지식을 알고 그것을 잘 응용하여 여러 가지 문제를 잘 풀어낼 수 있는 것만을 지향하는 것으로는 충분치 않다고 본다. 학생들이 물리학의 테크닉이나 문제 풀이의 훈련을 하는 것도 필요하지만, Cooper 일반물리학 교재가 보여

준 것처럼 더욱 궁극적으로 물리학 이론들이 어디로부터 비롯되었는지 따져가면서 물리학 이론들의 의미와 그 안에서의 구조 등을 배우는 것이 물리학을 잘 알기 위해 매우 중요하다고 생각된다.

2.3. 더 넓은 지평과의 만남으로 이끄는 서술 방식

마지막으로 일반물리학 교재 서술의 특징 차원에서 Cooper 일반물리학 교재의 특징이 어떻게 이해될 수 있는지 살펴보고자 한다.

앞서 5장에서 보인 Cooper 일반물리학 교재의 서술 방식의 특징에서는 교재가 일반적인 물리학 교재 같지 않은 모습을 보인다고 하였다. 이와 같이 전형적인 물리학 교재 같지 않은 이유는 독자들에게 단순히 물리학 개념이나 내용을 결론적으로 전달하기 보다는 마치 독자들과 대화하면서 수업을 진행하는 듯한 서술이 특징적으로 나타났기 때문이다. 본 연구에서 제안한 과학의 관심을 기초로 한 기준틀을 비추어 볼 때, Cooper 일반물리학 교재의 내용 서술의 특징은 교재가 바탕에 두고 있는 과학의 우주론적 관심에서 비롯된 서술 특징이라 볼 수 있다. 즉, Cooper 일반물리학 교재는 물리학 내용을 서술함에 있어서 분절적으로 잘 포장되어 있는 지식의 패키지들을 전달하는 일종의 수사학적 결론의 방식으로 서술하지 않고, 오히려 독자들이 더 생각하게 하고 따져보게 하면서 독자들 스스로가 물리학의 내용과 그 의미까지 생각할 수 있도록 안내하고 있는 것으로 보인다.

저자 Cooper는 Niaz 등과의 인터뷰 연구에서 본인의 물리학 교육에 대한 생각을 소개하면서 이처럼 학생들이 단지 주어지는 물리학 지식을 받아들이는 것이 아니라 그것에 대해 생각하고 따져보는 것이 중요하다는 것을 강조한 바 있다.

And as I said above, if you're going to train physicists, you have to be

sure that they master the techniques. However, if they are going to be important scientists, they're going to have to take things apart. (Cooper's statement, Niaz et al., 2010, p. 44)

일반물리학 교재의 원자의 구조 단원 본문 서술을 살펴보면 위와 같이 Cooper의 교육적 의도가 잘 반영된 내용들을 찾아볼 수 있다. 대표적으로 본 연구에서 예로 보이고자 하는 부분 중 하나는 Thomson의 전자 발견과 그의 원자 모형에 관한 내용이다. Cooper 일반물리학 교재의 특징을 더욱 잘 파악하기 위해 일반적으로 많이 사용되었던 일반물리학 교재인 Serway & Vuille (2011)의 교재에서 Thomson의 원자 모형과 관련된 내용을 먼저 살펴보고자 한다 (가장 많이 사용되는 Halliday & Resnick 일반물리학 교재에는 Thomson의 모형이 다뤄지지 않았다).

J. J. Thomson (1856–1940) suggested a model of the atom as a volume of positive charge with electrons embedded throughout the volume, much like the seeds in a watermelon. (Serway & Vuille, 2011, p. 934)

위의 내용은 Serway & Vuille 일반물리학 교재에서 서술된 Thomson의 원자 모형과 관련된 내용이다. Serway & Vuille 교재에서는 매우 간략하게 한 문장으로 Thomson이 자신의 원자 모형을 제안하였음을 보이고 있다. 상당수의 일반물리학 교재들이 이와 같은 방식의 서술과 크게 다르지 않는 방식으로 Thomson의 원자모형을 서술하고 있으며, 보통은 Thomson이 음극선 실험으로 전자를 발견하고 이를 통해 그의 원자 모형을 제안하였다는 식으로 간략히 서술한다. 이와 같은 서술을 통해 독자들은 단지 Thomson이 수박에 씨가 박힌 듯한 원자의 모형을 생각하였다는 정보만을 얻게 될 것이다. 여기서 학생들의 자연과 물리학에 대한 이해의 지평이 넓어지기란 기대하기 어려

을 것이다. 단지 하나의 물리학적, 역사적 사실 정보만을 획득하게 되는 것 뿐이다. 게다가 보통 물리학 교재들이 설명하듯 Thomson이 음극선 실험을 통해 전자를 발견한 것이 곧바로 그의 원자의 구조에 대한 모형으로 이어지는 것에는 논리적 비약이 존재한다. 다시 말해, 음극선 실험을 통해 전자를 발견했다는 사실이 아무런 중간과정 없이 Thomson의 원자 모형으로 이어지기 어렵다는 것이다. 이것은 독자들에게 그저 Thomson이 전자를 발견했으며 이를 통해 제안한 원자 모형을 그대로 받아들여 기억하라고 요구하는 것과 같다.

반면, Cooper 일반물리학 교재는 Thomson이 제안한 원자 모형까지 도달하기 위해 음극선 실험의 맥락과 배경부터 하나하나 과정을 짚어가면서 서술한다. Cooper 일반물리학 교재는 19세기 후반, 왜 음극선 실험이 과학자들에게 논쟁적이었는지, 그리고 Thomson의 실험이 무엇을 위한 실험이었는지도 자세하게 설명한다. 그리고 어떤 생각과 실험들을 거쳐 '전자'라고 하는 새로운 기본 입자를 발견하게 되었는지 실험의 과정, Thomson의 사고 과정 그리고 Millikan 실험 내용까지 순차적으로 설명한다. 일반적으로 보통의 물리학 교재는 여기서 곧바로 Thomson이 전자를 포함한 원자 모형을 제안하였다고 서술한다. 그러나 Cooper 일반물리학 교재는 어떻게 Thomson의 전자 발견이 원자의 구조에 대한 모형까지 이르게 되었는지 그 중간 과정에 대해서도 자세히 이야기를 전개시킨다. 먼저 교재는 앞선 장에서 다루었던 원소 스펙트럼이 자기장 내에서 변화한다는 관찰 결과를 제시한다. 그리고 이와 같은 현상은 물질 내부에 전하를 띤 입자가 진동하기 때문이라는 해석에 대해 설명하고, 그러한 해석과 마찰전기 등의 현상을 종합하여 볼 때, 물질 내부에 전자가 존재하고 있어야 하고 따라서 원자 내부에는 전자가 있어야 하는 결론에 이르게 된다고 설명한다. Cooper 일반물리학 교재는 전자를 포함한 원자 모델을 처음 제안한 사람은 William Thomson(혹은 Lord Kelvin)으로 그는

마치 케이크 안에 건포도가 박힌 듯, 양전하 분포 안에 전자가 박혀 있는 모델을 제안하였다고 설명한다. 그러나 전자기학 이론에 의하면 이와 같이 전기적 물질들의 정(靜)적인 구성체는 안정적으로 존재하기 어렵기 때문에 J. J. Thomson이 기존의 원자 모형을 발전시켜 더욱 안정적인 원자 모형을 구성하였다고 교재는 설명한다. 또한 Cooper 일반물리학 교재는 이와 같은 원자 모형을 제안한 Thomson의 의도는 기존에 있던 고전 전자기학 이론 체계에 들어맞는 원자 모형을 통해 원자가 평상시 안정된 상태였다가 불꽃 등의 자극을 받으면 빛을 내뿜어 스펙트럼이 보이게 하는 것을 설명하고, 주기율표까지 설명하고자 하였다는 점도 지적하고 있다. 이와 같은 Thomson의 원자 모형의 설명이 마무리 된 이후 Cooper 일반물리학 교재는 다음과 같은 설명을 자연스럽게 덧붙인다.

Thus the concepts were all those of classical physics and this beginning attempt to construct an atom was very much like previous attempts to construct a gas or a rigid body. One used known or newly discovered materials and combined them according to known rules in an attempt to obtain an object that had the needed properties. (Cooper, 1992, p.315)

교재는 원자의 내부 구조에 대한 첫 탐구라 할 수 있는 Thomson의 전자 발견 및 원자 모형의 제안을 통해, 잘 알지 못하는 자연의 대상을 이해함에 있어 기존에 알고 있는 것에 비추어 이해하기 시작하는 물리학의 한 방법에 대해 설명하고 있다. 그리고 곧이어 물리학의 방법 혹은 정신과 관련하여 바로 이어 다음과 같이 서술한다.

"Hypotheses non fingo," Newton had said. "About the nature of gravity I make no assumptions." About the nature of the atom, however, as should

be clear from the path we are traveling, many assumptions were made. The ratio of the charge to the mass of the particle associated with cathode rays seemed secure. Yet, that this charge was the same as that found on ions was assumed; that the massive part of the atom was associated with its positive charge was assumed; that an atom with a dispersed positive charge, electrons spread throughout like raisins, could exist in equilibrium was assumed; and so on. Some of these assumptions, it turned out later, were justified; others were not. But in an enterprise such as that of the construction of an atom, one must be daring. In retrospect it might have saved time not to have made assumptions about the nature of the fluid through which electric and magnetic fields penetrate. For the atom, however, once one believed it was there, it was necessary to make assumptions, and these assumptions had consequences. When the consequences were in disagreement with experience, they were abandoned. And when the most likely assumptions were clearly contradictory to classical ideas, it was classical physics that was abandoned. (Cooper, 1992, pp.315-316)

위와 같은 서술에서 Cooper 일반물리학 교재는 원자에 대한 탐구에 있어서 많은 '가정'(assumption)이 있었음을 밝힌다. 그리고 이와 같은 가정들이 우리가 원자를 이해하는 데 있어서 어떤 결론을 이끌어내고, 이러한 결론들은 우리의 경험이나 관찰 및 실험 등에 비추어 받아들여지거나 아니면 거부당할 수 있음을 이야기한다. 게다가 이처럼 실험이나 관찰들과 잘 들어맞는 가정들이 너무나도 명확하게 고전적 아이디어와 대치된다면, 고전 물리학 또한 거부당하게 될 수 있음을 설명한다.

이처럼 Cooper 일반물리학 교재는 Thomson으로부터 비롯된 현대의 원자에 대한 본격적인 탐구 과정 속에서 단지 Thomson이 어떤 원자 모형을 제안

했느냐를 넘어서 그러한 원자 모형을 통해 무엇을 강조하고 있으며, 물리학에 대한 어떤 교훈을 얻게 되는지도 설명하고 있는 것이다. 구체적으로 앞서 보 인바와 같이, Thomson의 원자 모형은 단지 전자를 포함하고 있는 원자가 어떻게 생겼는지 만을 이야기하고자 한 것이 아니었다. 오히려 그러한 모형을 통해 자연에 존재하는 물질들의 '안정성'(stability)을 설명하는 것, 그리고 그러한 설명 모형은 기존에 알고 있던 물리학 이론들 안에서 이루어져야 이해 될 수 있다는 더 깊은 수준의 추구가 담겨 있다고 볼 수 있다. 즉, 당시 Thomson을 비롯한 물리학자들에게는 단지 원자가 어떻게 생겼느냐보다 더 깊은 수준에서 물질의 안정성을 설명하고 가지고 있는 이론에도 잘 맞아떨어 지는 원자에 대한 이해가 추구되었다는 것을 말한다. 이런 점만 보더라도 다른 일반물리학 교재에서 단순하게 Thomson의 원자 모형에 대한 결론적인 내용을 전달하는 것과는 비교할 수 없는 더 넓고 깊은 지평이 독자들에게 펼쳐 진다는 것을 알 수 있다. 그리고 이러한 내용은 단지 원자의 구조를 탐구하 는 데 있어 Thomson의 모형이라는 핵심 내용에 비해 참조적이거나 번외로 알아두면 좋은 지식 정도가 아니라 Thomson의 원자 모형에 대한 더 본질적 이고 깊은, 어쩌면 더욱 참된 이해에 가까운 지평을 만나게 하는 것이라 보 이며, 이것은 바로 독자들에게 물리학의 참된 모습을 독자들에게 보여주고자 하는 교재의 내용 전개 방식이라 생각된다. 게다가 Cooper 일반물리학 교재 는 위에서 인용된 것들과 같이 Thomson의 원자 모형에서 한걸음 물러나 물 리학이 진행되었던 방식을 메타적인 관점에서 서술함으로써, 학생들에게 물리 학이란 어떤 것이고 그것이 우리에게 어떻게 자연에 대한 이해에 다가가게 하는 것인지, 소위 말하는 과학의 본성(nature of science)에 해당하는 내용 도 자연스레 녹여내고 있음을 알 수 있다.

한편, 앞서 IV 장에서 논의된 Cooper 일반물리학 교재 서술의 특징 중 독자와 대화하며 수업을 하는 듯한 서술 방식은 교재를 읽는 독자들로 하여금

그저 교재에 나와 있는 내용을 수동적으로 받아들이게 하기보다는 독자가 적극적으로 사고하면서 교재와 소통하게 하는 것으로 보인다. 특히 교재가 독자들에게 질문을 한다거나, 혹은 이어질 내용에 대해 예고편과 같이 암시를 남기는 문장들은 독자들이 더 적극성을 가지고 교재와 소통하게 하기 위한 저자의 독특한 서술 방식이라 생각된다. 이렇게 질문을 하거나 암시를 남기는 등의 방식을 통해 독자들은 교재를 읽으며 끊임없이 생각하게 되며, 이렇게 생각하며 교재를 읽을 때, 그렇지 않을 때보다 훨씬 더 많은 것을 보게 되고 느끼게 될 것이라 생각한다.

또한 이와 같이 독자들을 끌어당기어 더 넓은 지평과 만나게 하는 Cooper 일반물리학 교재의 또 다른 독특한 서술 방식이 있다면, 그것은 비유의 사용이다. 대표적으로 교재의 첫 번째 대단원인 ON THE PROBLEM OF MOTION 단원을 살펴보면, 그 안에 포함된 많은 장들이, 예를 들어 "The Lion Is Known by His Claw" 또는 "The Music of Spheres" 등 비유적인 제목으로 제시되어 있음을 볼 수 있다. 이와 같은 경우 제목만으로는 그 장의 내용을 바로 파악하기 쉽지 않다. 그렇지만 이와 같은 비유적인 제목을 통해 물리학 내용 지식 뿐 아니라 저자가 전하고자 하는 더 넓은 의미까지도 전할 수 있다고 본다. Cooper 일반물리학 교재의 '원자의 구조' 단원의 경우 이처럼 더 넓은 의미까지 전달하기 위한 비유적 표현의 예로 Rutherford의 원자 모형과 관련하여 다음과 같이 성경의 인용한 표현을 찾을 수 있다.

This collection of facts, interpreted via existing theory, seemed to - lead to a dead end at every turn. One might say, in retrospect, that Rutherford's atom was the ultimate application of purely classical principles in the atomic domain. As though he had opened the seventh seal, there was a silence... and the angels were given seven trumpets... (Cooper, 1992, p. 324)

앞서 IV 장에서 다룬 것과 같이 위와 같은 인용은 고전물리학 시대가 지나가고 새로운 양상, 즉 양자역학의 시대가 도래 하는 것을 비유적으로 나타내기 위한 것으로 볼 수 있다. 이러한 비유적인 표현을 통하여 교재는 학생들이 단지 Rutherford 원자 모형이 고전물리학적으로 완전하게 설명할 수 없는 모형이라는 내용뿐 아니라 따라서 물리학의 양상이 고전물리학을 종결 짓고 새로운 물리학의 양상으로 시작되었다는 것을 파악할 수 있게 해준다.

결론적으로, Cooper 일반물리학 교재는 그저 물리학 내용 지식들을 소위 결론적 수사학(rhetoric of conclusion)의 방식으로 제시하고 전달하는 방식으로 서술되어 있기보다는, 역사적 맥락을 따라가며 독자들에게 의문을 던지기도 하고, 앞으로의 내용을 암시하여 궁금증을 불러일으키기도 하며, 때로는 비유적 표현을 통해 더 넓은 의미를 전달하려고 하는 등 독자의 사고를 장려하고 더욱 확장된 지평을 만날 수 있도록 도우는 방식의 서술로 되어 있다고 볼 수 있다.

이상의 논의들을 종합하여 본 연구에서 개발된 분석틀에 비추어 볼 때, Cooper 일반물리학 교재와 Halliday 일반물리학 교재의 분석 결과는 다음과 같다. [표 V-3]

[표 V-3] Cooper 일반물리학 교재와 Halliday 일반물리학 교재의 특징 분석 결과

	Halliday 일반물리학	Cooper 일반물리학
과학의 관심 (과학의 가치)	무엇이든 할 수 있는 물리학 물리학의 실용적 측면의 강조	물리학은 그림을 그리는 것 물리학은 자연에 대한 이해와 설명을 위한 탐구
내용 구성 (지식의 범위 & 스토리라인)	간결하게 정리된 물리학 지식의 습득 풍부한 예제 및 연습문제의 제공 간결하고 단편적인 이야기 구조	역사적 맥락 속에서 물리학 지식의 의미의 이해 물리학의 방법적 측면 및 철학적 맥락의 통합 하나의 큰 이야기 구조 흐름을 통한 원자의 구조 탐구 맥락의 구성
서술의 특징	결론의 수사학 방식으로 물리학 내용 지식들을 효율적으로 전달	질문하기, 의문 불러일으키기, 비유 사용하기 등의 독특한 서술 방식을 통한 더 넓은 지평으로의 초대
관계된 철학	과학주의 (자연을 통제)	해석학 (자연을 이해, 설명)

VI. 결론 및 논의

1. 요약 및 결론

본 연구에서는 Leon Cooper의 일반물리학 교재의 질적인 특성을 분석한 후, 이를 통하여 일반물리학 교재에 대한 이론적 논의와 개발 방향 등에 대한 논의에 도움을 얻고자 하였다. 이를 위해 Cooper 일반물리학 교재를 대표적인 일반물재 중 하나인 Halliday & Resnick 일반물리학 교재와 비교하면서 그 전체적인 내용 구성을 살펴보고, '원자의 구조' 단원을 선정하여 그 본문 내용 서술방식의 특징과 구성의 특징을 구체적으로 분석하였다.

본 연구에서 분석한 Cooper 일반물리학 교재의 특징을 요약하면 다음과 같다.

첫째, 원자의 구조 단원 본문 서술의 특징 측면에서 볼 때, Cooper 일반물리학 교재는 1) 물리학에 대한 메타적 관점을 말하고 있으며, 2) 배워야 하는 물리학 지식의 의미가 무엇인지 전하고자 하고, 3) 물리학의 과정을 생생하게 보여주려 하며, 4) 독특한 문체의 사용을 통해 독자들과 대화하며 수업하는 듯한 교재 서술의 모습을 보이고 있다. 이러한 특징들은 Cooper 일반물리학 교재가 단순히 물리학 내용 지식들을 결론적으로 전달하는 것이 아니라, 그와 같은 아이디어가 형성되고 발전되는 과정 및 그 의미 등을 함께 독자들에게 보여주려고 하였다. 또한 물리학 내용 지식들을 역사적, 철학적 맥락 등 더 넓은 맥락에서 가르치려 하고 있으며, 이와 더불어 물리학의 방법적 측면에 대한 내용들도 본문 서술 안에 자연스럽게 녹여 학생들에게 전하고 있다.

둘째, 본문의 구성 측면에서, Halliday & Resnick 일반물리학 교재가

원자의 구조와 관련된 내용을 분절시켜 구성하는데 반하여 Cooper 일반물리학 교재는 원자의 구조에 관련한 내용을 중요시 여기며 별도의 단원을 할애하여 내용을 구성함을 볼 수 있었다. 즉, 많은 일반물리학 교재들이 전자기학 혹은 원자 물리학 등의 물리학 개념, 이론들을 전달하는데 초점을 맞추고 원자의 구조 내용은 참조 지식 정도로 여기는 데 반하여, Cooper 일반물리학 교재는 원자의 구조에 대한 탐구 자체가 중심이 되어 내용이 전개되고 있다. 특히 Cooper 일반물리학 교재의 원자의 구조 내용 구성의 가장 큰 특징은 본문 내용의 이야기 구조가 하나의 큰 흐름으로 연결되어 구성되었다는 점이다. 이를 통해 독자들이 원자의 구조를 알아가는 탐구의 맥락 속에서 그 내용들을 총체적으로 배워나갈 수 있게 한다고 볼 수 있다.

셋째, 앞서 분석한 Cooper 일반물리학 교재의 특징들을 '과학의 관심'(interest of science) 개념을 바탕으로 개발된 분석틀을 통해 더욱 체계적이고 총체적으로 분석하여 살펴본 결과, Cooper 일반물리학 교재의 핵심적인 특징 3가지를 파악할 수 있었다. 구체적으로 Cooper 일반물리학 교재는 1) 우주론적 관심을 바탕으로 하여 무엇보다도 자연에 대한 이해와 설명을 추구하고 가르치고자 함을 보였으며, 2) 전체적인 맥락 속에서 물리학 지식을 학생들에게 전하고자 하며 그것을 강력한 하나의 스토리라인 속에서 구성하여 나타내고 있다. 마지막으로 3) 학생들을 더 넓은 지평과의 만남으로 이끄는 독창적인 서술 방식 - 질문하기, 의문 불러일으키기, 비유의 사용 등 - 을 취하고 있다.

결론적으로, Cooper 일반물리학 교재는 물리학의 본질적 지향인 자연에 대한 이해와 설명을 강조하며, 그러한 일관된 맥락에서 물리학 내용 지식의 의미와 구조, 물리학의 방법 등 자연을 탐구하는 물리학의 모습을 생생하게 충실히 보여주려는 교재라고 할 수 있다.

2. 논의

2.1. Cooper 일반물리학 교재로부터의 시사점

이상으로 본 연구는 Cooper 일반물리학 교재에 대한 분석을 통해 그 특징들을 파악하고, 그러한 특징들이 물리학의 본질을 가르치는 것과 관련하여 어떻게 이해될 수 있는지도 살펴보았다.

그렇다면 이와 같이 본 연구에서 살펴본 Cooper 일반물리학 교재의 특징들을 통해 본 연구자가 어떠한 시사점들을 얻을 수 있었는지에 관하여 논의하고자 한다.

먼저 Cooper 일반물리학 교재에서 부각되고 있는 특징에 대해 살펴보고자 한다. 첫째, Cooper 일반물리학 교재는 학생들이 물리학을 배우는 목적에 대해, 단지 우리의 실생활에 활용되는 지식이라거나 혹은 기술적으로 응용하기 위한 것이라는 점보다, 자연세계 및 자연현상에 대해 이해하고 설명하기 위한 것임을 강조하고 있다는 점이다. 앞서 분석된 Cooper 일반물리학 교재의 서술의 특징을 상기하자면, Cooper 일반물리학 교재는 그 서술에서 지속적으로 자연과 물리학 그리고 인간의 관계 속에서 물리학이란 무엇인가에 대해 이야기하고 있음을 볼 수 있다. 특히 Cooper 일반물리학 교재는 물리학자를 화가에 비유하면서 물리학을 한다는 것은 자연에 대한 그림을 그리는 것이라고 이야기하는 구체적인 서술을 통해 자연과 과학, 그리고 인간의 관계 속에서 물리학의 본질이 무엇인지를 보여주고 있다는 점이 특징적이라 볼 수 있다. 게다가 이러한 내용은 비단 '원자의 구조' 본문 서술에서만 나타나는 것이 아니라 교재의 서문에서도 더욱 뚜렷하게 찾아볼 수 있다. 또한, Cooper 일반물리학 교재는 이와 같이 그림을 그리는 비유로 물리학의 본질에 대한 내용을 학생들에게 전할 뿐 아니라, 본문 내용의 전반적인 구성과 그 흐름에 있어서도 물리학의 본질적인 목적은 자연현상(자연세계)에 대한 이해를 추구하는 것임을 보여주고 있다. 이러한 점은 본 연구에서 수행한 플롯-스토리 구

조 분석의 결과를 통해 확인할 수 있다. 구체적으로, Cooper 일반물리학 교재는 '원자의 구조' 단원의 내용을 구성하는데 있어서, 단지 각각의 물리학 (혹은 물리학 역사)의 내용 지식들을 전달하고 그것들을 다양한 현상에 적용하여 설명하는 것에 초점을 맞추기 보다는, 자연현상에 대한 탐구(여기서는 '원자'에 대한 탐구)라는 큰 이야기 흐름 안에서 핵심주제(자연 혹은 원자)를 중심으로 전체적인 물리학의 개념이나 이론의 구조를 그려나는데 초점을 맞추고 있다. 구체적으로 보자면, Cooper 일반물리학 교재는 과학자들의 다양한 원자 모형에 대한 내용 하나하나를 전달하는데 초점을 맞추어 가르치지 않는다. 오히려 교재는 물질의 본질로서 원자에 대한 탐구가 왜 당시 과학자들에게 필요했는지에 대한 배경에서 시작하여, 내용의 흐름 자체를 '원자에 대한 이해'라는 핵심적인 주제를 중심으로 구성하였고 과학자들의 원자 모형에 대한 내용은 원자에 대한 탐구라는 큰 흐름안의 요소로 다룸으로써, 학생들이 원자에 대한 물리학 내용 지식의 구조를 그려나갈 수 있게 하는 것이다. 이러한 점에서 보았을 때, Cooper 일반물리학 교재는 학생들에게 물리학을 가르침에 있어서 다른 목적도 아닌 오직 자연에 대한 이해가 물리학을 배우는 목적임을 드러내고 있는 것이며, 본 연구에서는 이러한 Cooper 일반물리학 교재의 특징에 대해 '우주론적 관심'을 바탕으로 둔 교재라고 보았다. 이와 같이 물리학 교재를 통해 우주론적 과학의 관심, 즉 물리학의 본래적이고 본질적인 목적과 가치를 강조하고 있으며, 그림을 그리는 것에 물리학을 비유적으로 설명하거나 전체적인 내용 구성에 있어서 자연현상에 대한 이해를 중심 주제로 일관성 있는 내용 흐름을 보이고 있는 등 실제 교재 서술에서도 우주론적 관심 및 물리학의 본질적 가치를 담아내고 있다는 점들은, 본 연구에서 Cooper 일반물리학 교재로부터 얻게 된 물리학 교재에 대한 중요한 시사점이 될 수 있다.

둘째로 Cooper 일반물리학 교재에서 부각되는 특징은, 학생들이 자연세계

에 대한 이해를 위해 물리학을 배우는데 있어서 물리학 개념이나 이론을 그 형성맥락을 통해 이해해나갈 수 있도록 하였다는 점이다. 이것은 다시 말해 물리학 내용 지식을 결론적으로 제시하지 않고, 그러한 내용 지식이 어떤 질문에서 시작되어 어떤 과정을 거쳐서 형성되었는지를 설명하면서 학생들이 논리적으로 따라가며 이론이나 개념 등을 이해할 수 있도록 하는 것이다. 특히 이러한 방식의 설명은 학생들이 물리학 개념이나 이론을 접하면서 그것을 그저 받아들이기만 하는 것이 아니라 충분히 납득하면서 이해해나갈 수 있도록 한다는 점에서 중요하다고 생각된다. 실제로 이와 같이 Cooper 일반물리학 교재의 이와 같은 설명 방식이, 배우게 되는 물리학 내용 지식에 대해 충분히 납득하면서 이해할 수 있게 해준다는 점과 관련하여 앞서 서론에서 소개된 학생들과 강의자 모두 긍정적인 반응을 보인 바 있다. 한편, 이처럼 Cooper 일반물리학 교재에서 물리학 내용 지식을 학생들에게 가르침에 있어서 그 지식의 형성맥락에서부터 설명하는 것은 단지 학생들이 그 내용을 납득하고 받아들이기 쉽도록 하기 위함뿐 아니라, 물리학 이론이나 개념의 의미를 잘 전달하기 위함이기도 하다. 앞서 V장에서 소개한 것처럼, 저자 Cooper는 과학자들의 관점(vision)이 이론의 의미와 관련이 있다고 말한다. 다시 말해, 우리가 어떤 물리학 이론을 배우면서 그 이론이 형성된 과정의 맥락 속에서 당시의 과학자들이 했던 질문과 그들의 관점들을 알게 될 때, 비로소 그 시대에 형성된 물리학 이론의 의미를 알 수 있다는 것이다. 이와 같이 우리가 물리학 내용 지식에 대한 이해에 있어서 그 지식이 배경으로 하고 있는 맥락 속에서 이해하는 것이 중요하다는 점은 앞서 이론적 배경에서 철학자 MacIntyre의 비유적 설명을 소개하며 강조한 바 있다. 앞서 소개하였던 MacIntyre의 비유 설명에서는 물리학을 포함한 과학에서 사용하는 개념들이 가지고 있는 배경으로서의 맥락을 알지 못한다면, 결코 그 개념의 참된 의미를 찾을 수 없다고 이야기한다. 이런 관점에서 보았을 때, Cooper 일반

물리학 교재가 물리학 개념 혹은 이론들을 가르침에 있어서 개념이나 이론이 배경으로 두고 있는 맥락으로부터 가르치고자 하는 것은 물리학 개념과 이론의 참된 의미와 그것의 구조를 가르치고자 하는 것으로 볼 수 있다. 이처럼 물리학 개념이나 이론을 가르치는 데 있어 그 형성맥락으로부터 설명하여 그 개념 및 이론들의 의미와 구조를 학생들에게 가르치고자 하는 점 또한 Cooper 일반물리학 교재에서 부각되는 물리학 교재에 대한 중요한 시사점이 라고 생각된다.

본 연구를 통해 얻게 된 물리학 교재에 대한 마지막 시사점으로서 Cooper 일반물리학에서 부각된 특징은, 물리학 교재가 비단 물리학 내용 지식 뿐 아니라 과학자들이 물리학을 하는 생생한 과정 혹은 그 방법을 함께 다루고 있다는 점이다. 이때 물리학의 방법은 단지 실험, 관찰, 혹은 경험적 방법만이 아니라 추측이나 ad hoc 등의 경험적이지 않은 방법 등도 보여주고 있으며, 본 연구에서 분석한 '원자의 구조' 단원의 경우 물리학 이론 체계가 어떻게 도전받고 변화하는지에 대한 과정도 생생하게 보여주고 있다. 특히 Cooper 일반물리학 교재는 이와 같은 물리학의 방법에 대한 내용을 서술할 때, 물리학 개념이나 이론에 대한 내용과 구분하여 따로 서술하거나 하지 않고 본문 내에서 개념, 이론 등에 대한 서술 속에 자연스럽게 녹여내어 보여주고 있다. 이것은 Cooper 일반물리학 교재가 자연 대상에 대한 탐구를 중심 주제로 하여 역사적 맥락으로 본문 내용을 구성하고 서술하였기 때문에 이처럼 하나의 본문에서 자연스럽게 물리학의 개념이나 이론 등의 내용과 물리학의 방법 등의 내용을 통합적으로 다루는 것이 가능했다고 본다. 과학의 방법이나 과학의 과정 등을 과학교육 포함시키고 중요하게 다루어야 한다는 주장은 이미 과학의 본성에 관련된 논의들과 함께 과학교육 연구에서 많이 이루어진 바가 있다. 그리고 이와 같은 연구들에서 과학의 방법, 과학의 과정 등의 내용을 과학 수업 및 교육과정 혹은 교과서에 어떻게 포함시킬 수 있는가에 대한 고

민들이 많이 있어왔다. 이런 점에서 볼 때, Cooper 일반물리학 교재는, 이와 같은 과학의 방법, 과정 등을 본문 내용 서술의 맥락에 자연스럽게 녹여내면서 그 모습을 생생하게 잘 드러내고 있다는 차원에서, 과학의 방법, 과정 등을 교재나 교과서에 어떻게 담아낼 것인가에 대한 예시 교재의 역할을 할 수 있다고 본다.

반면, 물리학 교재로서 Cooper 일반물리학 교재에서 드러나지 않아 아쉬움이 남는 점들도 찾을 수 있다. 첫째는, Cooper 일반물리학 교재가 역사적 맥락에서 물리학 개념이나 이론들의 형성과정을 차근차근 설명해주고 있기는 하지만, 최종적으로 학생들이 익혀야 할 개념, 법칙 등에 대해서 간결하게 정리되어 제공되는 부분이 없다는 점이다. 일반적으로 Halliday 일반물리학 교재를 비롯한 많은 물리학 교재들이 물리학 개념, 법칙 등을 간결하면서도 깔끔하게 정리해주고 있다. 그렇지만 Cooper 일반물리학 교재는 이렇게 정리된 개념, 법칙 등이 제공되지 않기 때문에, 독자들 스스로가 내용을 읽어가면서 정리해나가야 한다.

둘째는, Cooper 일반물리학 교재가 물리학 지식을 우리 주변 삶의 다양한 현상이나 영역들에 대해 적용하는 부분이 부족하게 다뤄지고 있다는 점이다. 물리학의 본질적인 목적과 가치가 자연현상에 대한 이해와 설명이지만, 그것이 좀 더 우리의 직접적인 삶에서의 경험들과 연관되어 설명된다면 더욱 그 이해가 깊어질 수 있다고 생각된다. 또한 물리학 지식의 응용을 통한 여러 성과들, 예를 들어 레이저나 반도체 등의 기술적인 성과들도 물리학을 배움에 있어서 간과해서는 안될 중요한 내용들이라고 본다. 그러나 Cooper 일반물리학 교재는 이와 같은 점들을 거의 강조하지 않고 있고, 따라서 교재에서도 이런 내용들을 거의 다루지 않고 있다.

셋째는, Cooper 일반물리학 교재가 학생들이 연습문제를 풀기 위한 준비를 충분히 시켜주지 못한다는 점이다. 학생들이 배운 물리학 내용 지식(법칙이나

개념, 이론 등)을 익혀 다양한 문제들을 풀어보고 문제 해결 능력을 기르는 것은 물리학을 배우는 데 있어서 간과해서는 안될 부분이다. 이런 점에서 보았을 때, Cooper 일반물리학 교재는 단원 끝부분마다 연습문제들이 수록되어 있긴 하지만, 학생들이 그러한 연습문제들을 잘 풀어낼 수 있도록 본문에서 준비시키는 부분이 부족하다. 앞서 첫 번째의 아쉬운 점에서 지적한 것과 같은 개념이나 법칙에 대한 간결한 정리를 제공하는 것도 필요하다 볼 수 있으며, 연습문제 이전에 본문 가운데 주요한 예제들을 제공함으로써 학생들이 문제 풀이에도 충분히 익숙해질 수 있도록 하는 것도 필요하다고 보인다.

한편, 위와 같이 Cooper 일반물리학 교재에서 잘 부각되지 않고 드러나지 않은 요소들이 대학 일반물리학 교육에 있어서 더 우선적이며 강조되어야 할 것이라는 비판 또한 가능할 수 있다. 다시 말해, 일반물리학 교육에서는 학생들이 물리학적 지식의 명제들을 익히고 그것을 활용하여 문제들을 잘 풀 수 있도록 훈련시키고 준비시키는 것이 무엇보다도 우선시되어야 하며 중요하다고 주장하는 것이다. 이와 같은 주장은 Cooper가 Niaz 등과의 인터뷰 연구(Niaz et al., 2010)에서 물리학자를 양성하는 것을 테니스 선수를 양성하는 것과 비교하면서, 마치 테니스 선수를 키울 때 필수적인 테크닉을 연습시켜 하루 빨리 경기에 나갈 수 있도록 훈련시킨다고 하는 것과 같다. 이것은 물리학자를 양성하는 경우 학생들이 물리학 지식의 결과들을 습득하고 그것들을 통해 다양한 문제를 풀어내도록 훈련시키는 것이라 볼 수 있다. 그러나 이와 같은 훈련이 대학 일반물리학 교육의 우선적인 목적이라 할 수 있는가? 이러한 논의와 관련하여 이지현(2012)은 대학교육의 본래성에 대해 논의하면서 본래적 대학은 ‘탐구와 학습의 축진을 통한 이해의 증진’이 본연의 관심이며 그것에 충실한 대학이 본래적인 대학이라고 하였다(이지현, 2012, p. 182). 즉 대학은 학문의 탐구와 그 학습이 본래적으로 추구해야 할 곳이며, 대학에서의 교육목표는 우선적으로 그 학문의 본질을 가르치고 배우는 것이 되어야

한다는 것이다. 이런 점에서 보았을 때 대학 물리학 교육 역시 물리학이라고 하는 학문의 본질을 가르치고 배우는 것이 본래적인 목표가 되어야 한다고 볼 수 있다. 그리고 물리학의 본질은 앞서 본 연구에서 지속적으로 강조한 것처럼 자연에 대한 이해와 설명을 추구하는 것이며, 물리학의 본질을 추구하는 물리교육이라면 물리학이 어떻게 자연을 이해하고 설명하는지를 가르치는 것이 우선적인 것이 되어야 할 것이다. 만약 본 연구에서 소개한 것처럼 기술적 관심을 바탕으로 하여 물리학을 훈련해야 할 테크닉으로 여긴다면, 그것은 물리학을 도구나 혹은 수단으로서 생각하는 교육이 될 것이다.

우리는 대학 물리교육 및 물리교재들이 그저 도구적인 이성과 그 논리에 종속되게 할 것인지 아니면 본질적인 물리학의 가치 구현을 추구하기 위한 것으로 해야 할지 다시금 고민해보아야 한다. 다시 말하자면, 이러한 문제는 물리학을 가르치고 있는 대학의 교육 지향이 대학을 인간 삶의 여타 가치들(취업, 경제력, 풍요로움 등)을 우선적으로 추구하는 곳으로 만들 것인지, 아니면 진정한 학문의 장으로서의 정체성을 갖추는 곳으로 만들 것인지를 진지하게 고민하게 한다는 것이다. 비록 대학이 순수한 학문을 하는 곳으로만 환원될 수 없는 우리 사회의 현실적 조건들이 있다는 점을 간과할 수는 없지만, 본 연구자는 대학교육이 학문의 장으로서의 대학 정체성 자체를 포기해서는 안 된다고 본다 (Kwon, Lee & Lee, 2014). 이러한 맥락에서 최근의 한 대학신문에 실린 기고문은 주목할 만하다. 그 기고문에서 저자는 지적인 활동이나 풍성한 사유보다는 오로지 스펙을 쌓기 위한 공부에만 열중하는 학생들과 이러한 학생들을 기르고 있는 중등학교 및 대학 물리교육의 현실과 문제를 지적하면서 대학 교육의 본질이 회복되어야 함을 역설하고 있다.

대학은 스펙을 쌓기 위한 '인력 양성소'가 아니라 학생들이 자신의 인생의 틀을 짜고 미래를 준비하는 배움터가 되어야 한다. (유재준, 2013)

끝으로, 본 연구에서 보인바와 같이 Cooper 일반물리학 교재에서는 물리학 교재로서 특징적으로 부각되는 시사점과 그에 비해 잘 드러나지 않아 아쉬운 점들이 동시에 나타나 있다. 이에 본 연구 역시 Cooper 일반물리학 교재를 완벽한 교재로 여긴다거나, 혹은 기존에 사용되고 있는 일반물리학 교재를 대체하는 완벽한 교재로 보지는 않는다. 오히려 본 연구는 이와 같이 기존 교재들과는 다른 관심과 지향을 가지고 다른 양상의 특징들을 보이는 Cooper 일반물리학 교재에 대한 면밀한 이해로부터 좀 더 나은 일반물리학 교재, 다시 말해 연구자가 지향하는 물리학의 본질을 가르치는 물리학 교재로서의 시사점들을 찾아가고자 하는 것이다. 이런 점에서 보았을 때, Cooper 일반물리학 교재가 강조하며 드러내고 있는 특징들은 앞으로 물리학 교재를 개발하고 학생들에게 물리학을 가르침에 있어서 진지하게 고려해야 할 중요한 점들을 지적하고 있다고 본다. 특히 물리학을 가르치고 배움에 있어서, 물리학 내용 지식의 적용이나 문제 풀이에 집중하는 것보다 좀 더 본질적으로 자연현상에 대해 어떻게 이해하는지 학습하는 것에 중점을 두는 점, 그리고 물리학 지식의 이해에 있어 그 맥락 속에서 그 의미와 구조를 파악할 수 있도록 하는 점 등이 Cooper 일반물리학 교재가 보이는 차별화된 특징이며 물리학 교재로서의 중요한 시사점들이라 생각된다.

2.2. 물리학 교재 연구 방법론으로서의 본 연구의 의의

본 연구는 일반물리학 교재를 분석하고 탐구하는 교과서 연구로서, 기존의 교과서 연구들과는 다른 방식의 새로운 연구 방법의 맥락을 제시하고 있다. 기존의 대부분의 교과서 혹은 교재 연구들은 교재의 형식적인 측면들을 중심으로 분석하거나 혹은 교수-학습 이론에 근거하여 분석의 기준을 제시하고 이에 따라 교재들을 분석하였다. 그러나 본 연구에서는 물리학 교재가 물리학을 가르침에 있어서 어떻게 가르치고 있는가? 어떻게 내용을

구성하였는가? 교재의 본문은 어떤 방식으로 서술되어 있는가? 등 물리학 교재의 질적인 양상들에 초점을 맞추어 그것들을 면밀하게 파악하고자 하는 연구를 수행하였다. 이는 마치 한편의 문학작품을 들여다보며 그 작품에 대한 세세한 이해를 추구해나가는 것과 유사하다고 볼 수 있다. 이러한 방식으로 본 연구는 물리학 교재 하나를 면밀히 들여다보며 그 교재의 특징들을 이해하고자 하였고, 이를 통해 물리학 교재에 대한 시사점들을 찾아 논의하였다.

이와 같이 본 연구에서 시도하고 제안하는 물리학 교재 분석 연구의 방법은 향후 물리학 교재를 분석하고 개발하는데 있어서 새로운 관점을 제공하는 등의 많은 도움을 줄 수 있을 것이라 생각한다.

3. 후속 연구 제언

본 연구는 Cooper 일반물리학 교재를 분석하고 이로부터 드러나는 특징들을 통해 얻을 수 있는 시사점들을 논의하였다. 그러나 이와 같은 본 연구는 사례 교재의 선정이나 연구의 방법 등의 측면에서 몇몇 연구의 한계가 있으며, 이에 이와 관련된 후속 연구들을 다음과 같이 제언한다.

첫째, 본 연구에서는 Cooper 일반물리학 교재를 분석하여 교재의 특징을 이해하는 데 있어서 ‘원자의 구조’ 단원을 중심으로 분석하였다. 따라서 ‘원자의 구조’ 단원이 아닌 다른 단원에서도 본 연구의 결과에서 드러난 특징들이 동일하게 나타나는지 살펴볼 필요가 있으며, 이에 따라 Cooper 일반물리학 교재의 다른 단원들에 대한 분석 연구가 후속적으로 이루어질 필요가 있다. 그리고 이와 같이 다른 단원들에 대한 분석이 완료된 후에 Cooper 일반물리학 교재 전체에 대한 총체적인 이해에 대한 논의가 이루어져야 할 것이다.

둘째, 본 연구는 일반물리학 교재를 분석하고 드러나는 특징으로부터 물리

학 교재로의 시사점을 얻고 논의하는 연구이다. 그러나 본 연구는 Cooper 일반물리학 교재 한권만을 선정하여 연구를 수행하였다는 한계가 있다. 따라서 Cooper 일반물리학 교재 외에 다른 특징적인 일반물리학 교재⁵⁾들을 탐색하고 이에 대한 분석 연구가 후속적으로 이루어져야 할 필요가 있다.

셋째, 본 연구에서는 Cooper 일반물리학 교재 자체의 내용만을 중심으로 일반물리학 교재 및 교육에 대한 논의를 수행하였다. 그러나 물리학 교재에 대한 연구에 있어서 그 교재를 활용한 수업의 양상이나 혹은 교재를 사용한 교사 및 학생의 반응 등에 대한 연구도 함께 이뤄져야 물리학 교재의 교육적 의미 등을 더욱 풍부하게 파악할 수 있을 것이다. 따라서 향후 연구에서는 Cooper 일반물리학 교재가 대학 일반물리학 강의에서 활용되었을 때의 강의자 및 학생들의 피드백에 대한 연구가 수행되어야 할 것이다.

마지막으로, 본 연구에서는 기존의 교재 및 교과서 분석 연구 방법들과는 다르게 교재의 질적인 양상을 면밀히 살펴보기 위한 새로운 연구 방법을 제안하였다. 그러나 본 연구에서 제안한 연구 방법론 및 교재 분석을 위한 기준틀 등에 대해 지속적인 검토와 연구가 필요하며, 이를 통해 물리학 교재를 더욱 심도 있게 분석하고 이해할 수 있는 연구 방법론으로서 발전시켜야 할 필요가 있다.

5) 본 연구자가 선행 연구에서 국내 저자의 일반물리학 교재들을 과학사/과학철학적 관점으로 분석한 연구가 있다 (Niaz, Kwon, Kim, & Lee, 2013). 이 연구의 결과에서 Cooper 일반물리학 교재와 유사하게 좋은 평가를 받았던 교재로 Cha (2007) 교재 등이 있다. 향후 연구에서 이와 같은 교재들을 우선적으로 선정하여 본 연구에서와 같은 심층적인 분석을 수행할 예정이다.

참 고 문 헌

- 강대구 (1991). 실과교과의 교재구조와 평가유형에 관한 연구. 박사학위 논문. 서울대학교.
- 강석진, 노태희 (2014). 과학의 본성: 어떤 과학을 가르칠 것인가?. 서울: (주)도서출판 북스힐.
- 강은주, 김선자, 박종욱 (2009). 초등과학 영재학생의 개방적 탐구 활동에서 나타난 참 과학탐구의 특징 분석. **영재교육연구**, 19(3), 647-667.
- 곽영순 (2009). 질적 연구: 철학과 예술 그리고 교육. 서울: 교육과학사.
- 곽영순, 김주훈 (2003). 좋은 수업에 대한 질적 연구: 중등 과학 수업을 중심으로. **한국과학교육학회지**, 33(2), 144-154.
- 권재술 (1984). Klopfer의 과학교육 목표 분류의 본질과 문제점. **과학교육논총**, 9, 67-72.
- 김미경, 김희백 (2007). 학생들이 제시한 질문의 유형 분석을 통한 개방적 참탐구 활동의 인지적 추론 측면의 효과. **한국과학교육학회지**, 27(9), 930-943.
- 김용식 (1995). 과학 · 기술시대의 교육문제: Heidegger의 철학적 관점에 서. **인천교육대학교 논문집**, 29(1), 85-98.
- 김윤희, 문성배 (2000). 3차원 분석틀을 이용한 고등학교 공통과학(물질 부분) 교과서의 탐구 활동 분석. **한국과학교육학회지**, 20(2), 274-287.
- 김민나, 권상운, 이경호 (2012). 융합형 과학교과서 '우주의 기원' 단원의 내용기술의 특징: 반성적/도구적 유형을 중심으로. **교육과학연구**, 43(4), 165-190.
- 김정홍 (1987). 전북대 물리학과 교육방법. **大學教育**, 29, 80-96.

- 오세정 (2007). 2007 대한민국 과학기술연차대회 - 한국 수학, 과학교육의 문제점 및 개선방안. *大學教育*, 149, 129-134.
- 김하연 (2007). Romey 방법에 의한 제 7차 교육과정 생물 I 교과서의 탐구적 성향 분석. 석사학위 논문. 성균관대학교.
- 김현정 (2002). Romey의 교과서 평가 방법을 이용한 제 7차 교육과정에 따른 중학교 6종 과학 교과서의 탐구적 성향 분석. 석사학위 논문. 이화여자대학교.
- 노연정 (2007). Klopfer의 과학 교육목표 분류체계에 의한 제6차 및 제7차 교육과정의 중학교 2·3학년 과학교과서 분석: 동일한 내용의 화학 단원에 대하여. 석사학위 논문. 숙명여자대학교.
- 노지현 (1988). 물리학과 교육 발전을 위한 제언. *大學教育*, 31, 116-120.
- 박세기 (2011). 과학 교과서에 사용된 과학사 자료 분석틀 개발 및 적용: 지구과학사를 중심으로. 석사학위 논문. 강원대학교.
- 박수연 (1997). 교육학에 있어서 사례연구의 중요성. *교육과학연구*, 26, 197-215.
- 박영신 (2006). 교실에서의 실질적 과학탐구를 위한 과학적 논증 기회에 대한 이론적 고찰. *한국지구과학회지*, 27(4), 401-415.
- 박재용, 이기영 (2011). 중학교 과학 자유 탐구 수행 실태 및 교사와 학생의 인식. *교과교육학연구*, 15(3), 603-632.
- 박진은 (2015). Gadamer 해석학의 관점에서 기존 교과서관 비판. *교육원리연구*, 20(1), 27-46.
- 박현주, 심재호, 손연아 (2017). 과학과 교육과정과 과학 교과서 간의 일관성을 평가하기 위한 교과서 분석틀의 개발과 적용. *교사교육연구*, 56(1), 74-93.

- 서도식 (2006). 하버마스 ‘인식과 관심’. 철학사상 별책 제 7권 제 22호, 서울: 서울대학교 철학사상연구소.
- 안지혜 (2012). 좋은 대학수업의 특성 분석 연구: 인문사회계열 우수 수업 사례 관찰 결과를 중심으로. 박사학위 논문, 연세대학교.
- 안형심 (2008). Klopfer의 교육목표 분류체계를 이용한 제7차 교육과정 10학년 과학교과서 지구과학 분야의 비교분석. 석사학위 논문. 공주대학교.
- 오세정 (2007). 2007 대한민국 과학기술연차대회 - 한국 수학, 과학교육의 문제점 및 개선방안. 大學教育, 49, 127-134.
- 오필석 (2013). "좋은" 과학 수업에 관한 중등 과학 교사들의 사고. 한국과학교육학회지, 33(2), 405-424.
- 우종천 (1981). 물리학 실험교육에 관한 연구. 科學教育研究論叢, 6(1), 65-79.
- 유재준 (2013). 고기잡이 스펙 쌓기. 서울대학교 대학신문, 2013년 9월 8일.
- 윤희중 (2001). Mathematica를 이용한 대학 물리교육의 새로운 학습도구 개발. 自然科學 研究論文集, 10(1), 55-64.
- 이병욱 (2002). 공업계 고등학교 학교수준의 교육과정 평가준거 개발 연구. 박사학위 논문. 충남대학교.
- 이봉우 (2016). 좋은 과학수업에 대한 중등 과학교사의 인식. 한국과학교육학회지, 36(1), 103-112.
- 이상균, 김순식 (2012). ASI 프로그램이 과학영재 학생들의 과학 창의적 문제해결력과 과학 학습 동기에 미치는 효과. 대한지구과학교육학회지, 5(1), 31-41.
- 이지현 (2012). 본래성과 대학교육. 교육철학연구, 34(1), 167-187.

- 이진석 (2008). **대학생이 갖는 중력퍼텐셜에너지(G.P.E)에 대한 어려움의 원인 탐색: 대학생들의 어려움 내용과 초·중·고 교육과정, 그리고 교사의 영향을 중심으로**. 석사학위논문, 서울대학교, 서울.
- 이성호 (1995). **한국의 대학교수**. 서울: 학지사.
- 이순옥 (2006). 교과서 분석의 준거 설정. **교육학논총**, 27(1), 59-82.
- 이영희 (2017). **과학의 본성**. 파주: 교육과학사.
- 이철세 (1997). 대학물리실험 교육 개선 방안. **培材論叢**, 2, 489-493.
- 이현주 (2013). **고등학교 선택물리와 일반물리학의 연계성 연구: 2009 개정 교육과정을 중심으로**. 석사학위논문, 경희대학교, 서울.
- 장희익 (1996). 물리교육의 과제와 개선방안. **大學教育**, 83, 122-128.
- 조영달 (2015). **질적 연구 방법론: 이론편**. 서울: 近思.
- 조용환 (1999). **질적 연구: 방법과 사례**. 파주: 교육과학사.
- 한국교육개발원 (1981). **교과용 도서 연구 개발**. 한국교육개발원
- 한종하 (1981). **실험용 교과서의 적절성, 타당성, 효용성은 어떻게 검증되어야 하는가 (과학교과를 중심으로)**. 미발간 유인물.
- 홍성준 (2008). **Romey 방법에 의한 제7차 교육과정 고등학교 물리II 교과서의 탐구 영역 분석**. 석사학위 논문. 인하대학교.
- 홍은숙 (2006). 후기 허스트의 도덕교육론 고찰: '실천전통에의 입문으로서의 교육관'에서의 도덕교육. **도덕교육연구**, 17(2), 163-186.
- 홍은숙 (2007). **교육의 개념: 실천전통에의 입문으로서의 교육**. 파주: 교육과학사.
- 홍은숙 (2010). 실천전통 교육관을 위한 교육과정 설계: 교육의 목적에 관한 연구. **교육철학연구**, 47, 225-247.
- Arons, A. B., & Redish, E. F. (1997). *Teaching introductory physics* (Vol. 22). New York: Wiley.

- Avraamidou, L. & Osborne, J. (2009). The Role of Narrative in Communicating Science. *International Journal of Science Education*, 31(12), 1683–1707.
- Byun, T. & Lee, G. (2014). Why students still can't solve physics problems after solving over 2000 problems. *American Journal of Physics*, 82, (9), 906–913.
- Cooper, L. N. (1992). *Physics: Structure and Meaning*. Hanover: University Press of New England.
- Cooper, L. N. (1970). *An introduction to the meaning and structure of physics*. Harper & Row.
- Creswell, J. W. (2007). *Qualitative Inquiry and Research Design 2E*. CA: Sage Publication. (조흥식, 정선욱, 김진숙, 권지성 역. 질적 연구방법론: 다섯 가지 접근. 서울: 학지사)
- Duschl R. A. (1990). *Restructuring science education. The importance of theories and their development*. New York: Teachers' College Press.
- Duschl, R. A. (2008). Science Education in Three-Part Harmony: Balancing Conceptual, Epistemic, and Social Learning Goals. *Review of Research in Education*, 32(1), 268–291.
- Egan, K. (1986). *Teaching as story telling*. London, Ontario: Althouse Press.
- Eger, M. (1989). The 'Interests' of Science and the Problem of Education. *Synthese*, 80(1), 81–106.
- Gall, M. D. (1981). *Handbook for evaluating and selecting curriculum materials*. Boston: Allyn & Bacon.

- Gilbert, J. K. (2004). Models and Modelling: Routes to More Authentic Science Education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 2(2), 115-130.
- Guisasola, J., Zuza, K. & Almudi, J. (2013). An analysis of how electromagnetic induction and Faraday's law are presented in general physics textbooks, focusing on learning difficulties. *European Journal of Physics*, 34(4), 1015-1024.
- Habermas J. (1971). *Knowledge and Human Interests*. Boston: Beacon Press.
- Halliday, D., Resnick, D. & Walker, J. (2013). *Fundamental of Physics Extended 10th Edition*. Wiley.
- Hesse, M. B. (1989). *Revolutions and Reconstructions in the Philosophy of Science*, Brighton: Harvester Press.
- Hodson, D. (1988). Towards a Philosophically More Valid Science Curriculum. *Science Education*, 72, 19-40.
- Hodson, D. (1992). In search of a meaningful relationship: an exploration of some issues relating to integration in science and science education. *International Journal of Science Education*, 14, 541-562.
- Hodson, D. (1996). Laboratory work as scientific method: three decades of confusion and distortion. *Journal of Curriculum Studies*, 28(2), 115-135.
- Hodson, D. (2008). *Towards scientific literacy*. Rotterdam, The Netherlands: Sense Publishers.
- Hodson D. (2014). Nature of Science in the Science Curriculum:

- Origin, Development, Implications and Shifting Emphases. In: Matthews M. (eds) *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*. Dordrecht: Springer.
- Hogan, K. (2000). Exploring a process view of students' knowledge about the nature of science. *Science Education*, 84(1), 51–70.
- Jo, K., Song, J. W., & Suh, J. A. (2010). Development of an Analytical Framework for the Exemplification Type of a Science Textbook. *New Physics: Sae Mulli*, 60(3), 283–292.
- Kampourakis, K. (2017). Science teaching in university science departments: The “missing link” in science education? . *Science and Education*, 26(3–4), 201–203.
- Kim, E. & Pak, S. J. (2002). Students do not overcome conceptual difficulties after solving 1000 traditional problems. *American Journal of Physics*, 70(7), 759–765.
- Kim, J., Kwon, S. & Lee, G. (2011). A Consistent Approach to Examples of Various Motions in a Rotating Frame by Using Conservation of Angular Momentum. *New Physics: Sae Mulli*, 61(5), 489–496.
- Klassen, S. (2009). The construction and analysis of a science story: A proposed methodology. *Science and Education*, 18, 401–423.
- Klassen, S. (2010). The Relation of Story Structure to a Model of Conceptual Change in Science Learning. *Science and Education*, 19(3), 305–317.
- Klassen S. & Klassen C. (2014). Science Teaching with Historically Based Stories: Theoretical and Practical Perspectives. In:

- Matthews M. (eds) *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*. Dordrecht: Springer.
- Klopfer, L. E. (1971). Evaluation of learning in science. In B. S. Bloom, J. T. Hastings & G. F. Madaus (Eds.), *Handbook of formative and summative evaluation of student learning* (London: McGraw-Hill).
- Kuhn, T. S. (1962). *The Structure of Scientific Revolutions* (50th Anniversary ed.). Chicago: The University of Chicago. (김명자, 홍성욱 역. 제 4판 과학혁명의 구조. 서울: 까치글방)
- Kwon, S., Lee, J. & Lee, G. (2014). Reflection and Outlook on General Physics Textbooks: Focusing on the Unit on 'Atomic Structure'. *New Physics: Sae Mulli*, 64(5), 483-491.
- Lederman, N. G. (1992). Students' and teachers' conceptions of the nature of science: A review of the research. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(4), 331-359.
- Lederman, N. G. (1998, December). The State of Science Education: Subject Matter Without Context. *Electronic Journal of Science Education* [On-Line], 3(2). Available at <http://unr.edu/homepage/jcannon/ejse/ejse.html>
- Lederman, N. G., Abd-El-Khalick, F., Bell, R. L., & Schwartz, R. S. (2002). Views of nature of science questionnaire: Toward valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(6), 497-521.
- Lynch, G. S. (2015, July). Review: Leon N. Cooper's Science and Human Experience: Values, Culture, and the Mind. *Cerebrum*:

- the Dana Forum on Brain Science* (Vol. 2015). Dana Foundation.
- Matthews, M. R. (1994). *Science Teaching: The Role of History and Philosophy of Science*. NY: Routledge.
- MacIntyre, A. (1984). *After Virtue: A Study in moral theory* (2nd ed.). Notre Dame: University Notre Dame Press. (이진우 역. 덕의 상실. 서울: 문예출판사)
- Metz, D., Klassen, S., McMillan, B., Clough, M., & Olson, J. (2007). Building a foundation for historical narratives. *Science and Education*, 16, 313-334.
- McComas, W. F., & Olson, J. K. (1998). *The nature of science in science education: Rationales and strategies*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- National Research Council (2000). *Inquiry and the National Science Standards*.
- Niaz, M. (1998). From cathode rays to alpha particles to quantum of action: A rational reconstruction of structure of the atom and its implications for chemistry textbooks. *Science Education*, 82(5), 527-552.
- Niaz, M. (2010). Are We Teaching Science as Practiced by Scientists? . *American Journal of Physics*, 78(1), 5-6.
- Niaz, M., Klassen, S., McMillan, B., & Metz, D. (2010). Leon Cooper's perspective on teaching science: An interview study. *Science and Education*, 19(1), 39-54.
- Niaz, M., Kwon, S., Kim, N. & Lee, G. (2013). Do general physics

- textbooks discuss scientists' ideas about atomic structure? : A case in Korea. *Physics Education*, 48(1), 57-64.
- Noddings, N., & Witherell, C. (1991). Epilogue: Themes remembered and foreseen. In C. Witherell & N. Noddings (Eds.), *Stories lives tell* (pp. 279-280). New York: Teachers College Press.
- Palmer, P. J. (1983). *To Know As We Are Known: Education As a Spiritual Journey*. NY: HarperSanFrancisco. (이종태 역. 가르침과 배움의 영성. 서울: IVP)
- Palmer, P. J. (2010). *The Courage to Teach: Exploring the Inner Landscape of a Teacher's Life*. San Francisco: Jossey-Bass. (이종인, 이은정 역. 가르칠 수 있는 용기. 서울: 한문화멀티미디어)
- Park, J. (2008). Teaching Models for Scientific Inquiry Activity through the Nature of Science (NOS). *Journal of Korea Association of Science Education*, 28(7), 759-767.
- Patiniotis, M. (2006). Textbooks at the Crossroads: Scientific and Philosophical Textbooks in 18th Century Greek Education. *Science and Education*, 15(7-8), 801-822.
- Passmore, C., Gouvea, J. S., & Giere, R. (2014). Models in science and in learning science: Focusing scientific practice on sense-making. In: Matthews M. (eds) *International handbook of research in history, philosophy and science teaching* (pp. 1171-1202). Netherlands: Springer.
- Patton, M. Q. (2002). *Qualitative research & evaluation methods (3rd ed.)*. Thousand Oaks: Sage Publications.
- Postman, N. (1995). *The End of Education*. NY: Alfred A. (차동춘 역.

교육의 종말. 서울: 문예출판사)

- Prince, G. (1973). *A grammar of stories: An introduction*. The Hague: Mouton.
- Pring, R. (2004). *Philosophy of Educational Research (2nd ed.)*. London: Continuum. (곽덕주, 김희용, 유재봉, 홍은숙 역. 교육연구의 철학: 진단과 전망. 서울: (주)학지사)
- Rodríguez, M. A. & Niaz, M. (2004). A Reconstruction of Structure of the Atom and Its Implications for General Physics Textbooks: A History and Philosophy of Science Perspective. *Journal of Science Education and Technology*, 13(3), 409-424.
- Romey, W. D. (1981). *Inquiry techniques for teaching science*. NJ: Prentice Hall.
- Schulz, R. M. (2009a). Reforming Science Education: Part I. The Search for a Philosophy of Science Education. *Science and Education*, 18(3-4), 255-249.
- Schulz, R. M. (2009b). Reforming Science Education: Part II. Utilizing Kieran Egan's Educational Metatheory. *Science and Education*, 18(3-4), 251-273.
- Schulz, R. M. (2014). Philosophy of Education and Science Education: A Vital but Underdeveloped Relationship. In M. R. Matthews (Eds.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching* (pp.1259-1316). Netherlands: Springer Netherlands.
- Schwab, J. J. (1962). *"The Teaching of Science as Enquiry"*, The Teaching of Science. London: Oxford University Press.

- Serway, R. A. & Vuille, C. (2011). *College Physics 9th Edition*. Cengage Learning.
- Stinner, A. (1992). Contextual teaching in physics: From science stories to large-context problems. *Alberta Journal of Science Education*, 26(1), 20–29.
- Windschitl, M., Thompson, J., & Braaten, M. (2008). Beyond the Scientific Method : ModelBased Inquiry as a New Paradigm of Preference for School Science Investigations. *Science Education*, pp.1–27.

Abstract

Aiming for a New Physics Textbook that Pursues the Authentic Physics:

Focusing on the Case Study of Leon

Cooper's General Physics Textbook

Sangwoon Kwon

Science Education (Physics)

The Graduate School

Seoul National University

Natural Science, including physics, pursues investigating natural phenomena and extending our understand of nature. Meanwhile, it is a goal of science education, including physics education, that learns how to understand and investigate natural world and natural phenomena through science. Both science and science education pursue the understanding of nature, namely, the meeting the truth contained in nature, and pursue the growth of all of us in these processes. However, it have been pointed out that physics education/science education in the meantime had focused on “knowing” physics, and had taught in the way of transmitting the conclusive physics knowledge for a long time. And this type of physics education could teach distort, de-contextual,

and erroneous perceptions of science to students.

As a way to overcome these problems, many studies on physics education suggest that we should teach the authentic physics (science) or the practice as physicists do physics. However, from erstwhile discussions, it is not easy to grasp, what the authentic physics is, and what the teaching the practice of scientists means in detail. Therefore, it is necessary to study what is the authentic physics that should be taught to students in physics education, and how to teach students by applying the authentic physics to actual classes or textbooks.

In addition, I have studied university general physics textbooks as a main subject, with the intention of teaching the authentic physics. Leon Cooper's general physics textbooks, from previous study, provided me the opportunity to study textbooks which teach the authentic physics or essence of physics, in earnest. Then I started to study about general physics textbooks with the fundamental question: what should be the physics textbook that teaches the authentic physics? And then, I tried to find the answer to my fundamental question through examining Leon Cooper's general physics textbook as a starting point.

Therefore, I conducted a theoretical examination of what is the teaching of the authentic physics first. Next, I set up the following specific research questions that I studied with Cooper's general physics textbook, and I tried to gain new implications for physics textbook with this study: 1) What is the characteristic of the description of 'structure of the atom' unit in Cooper's general physics textbook? 2) What is the composition of the 'structure of the atom' unit in Cooper's general physics textbook? 3) How can we understand Cooper's textbook's characteristics systematically and comprehensively? In this study, I used various qualitative research methods (ex. ground theory, analyzing story-plot structure, etc.) for analyzing the physics textbook following my research questions. And then I drew implications about teaching the authentic physics through the result of this study.

In the result, this study found that: 1) Cooper's general physics

textbook intends to teach the meaning of physics knowledge, the process and method of physics with the holistic view on physics. And it is found that the character of the writing style to communicate with the readers. 2) Cooper's general physics textbook composes the contents of structure of atom making the coherent big story line with studies of the atom as a main subject. 3) Cooper's general physics textbook shows clearly that the object of physics is understanding and explaining nature, based on cosmological interest of science. Therefore, Cooper's textbook intends students to understand nature in the context of big storyline, and has feature of descriptions and compositions which provide not only conclusions but opportunity to meet broad horizons.

In a summary, although Cooper's general physics textbook has inadequacies of brief propositions and problem solving training, it shows the new and differentiated characteristics that it emphasizes the learning structure and meaning of physics, and provides processes and methods of physics to the life. In addition, these characteristics of Cooper's general physics textbooks seem to provide very considerable implications for next understanding or development of physics textbooks which introduce the authentic physics.

keywords : teaching authentic physics, interest of science, general physics textbook, Leon Cooper's general physics textbook

Student Number : 2009-23415